



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA

**EDILSON RAIMUNDO SILVA**

**ABORDAGEM MULTICRITERIAL DIFUSA COMO APOIO  
AO PROCESSO DECISÓRIO PARA A IDENTIFICAÇÃO  
DE UM REGIME DE VAZÕES ECOLÓGICAS  
NO BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Salvador  
2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**EDILSON RAIMUNDO SILVA**

**ABORDAGEM MULTICRITERIAL DIFUSA COMO APOIO  
AO PROCESSO DECISÓRIO PARA A IDENTIFICAÇÃO  
DE UM REGIME DE VAZÕES ECOLÓGICAS  
NO BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Área de Concentração: Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros  
Co-orientador: Dr. Bojan Srdjevic

Salvador  
2010

---

Silva, Edilson Raimundo

Abordagem multicriterial difusa como apoio ao processo decisório para a identificação de um regime de vazões ecológicas no baixo curso do rio São Francisco / Edilson Raimundo Silva. – Salvador, 2010.

170 f. : il. color.

Orientador: Prof. Phd. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2010.

1. Gerenciamento de Recursos Hídricos. 2. Análise Multicriterial. 3. Lógica Difusa. 4. Vazão Ecológica. I. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

---

EDILSON RAIMUNDO SILVA

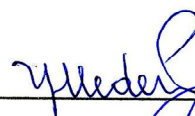
ABORDAGEM MULTICRITERIAL DIFUSA COMO APOIO AO PROCESSO  
DECISÓRIO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE UM REGIME DE VAZÕES  
ECOLOGICAS NO BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Salvador, 11 de janeiro de 2010

Banca Examinadora:

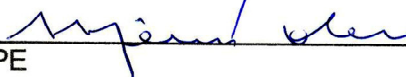
Profa. PhD. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros  
Universidade Federal da Bahia – UFBA



Profa. Dra. Ilce Marília Dantas Pinto de Freitas  
Universidade Federal da Bahia – UFBA



Prof. Dr. Mêuser Jorge Silva Valença  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE



À minha família, presente que me foi dado por Deus,  
presente sempre, nos sentimentos meus.

A todos que, consciente ou inconscientemente,  
dia após dia, meditam e trabalham  
para a evolução da humanidade.

Aos que acreditam na sua própria capacidade  
e aos que precisam acreditar nisso.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos dar a capacidade de percebê-Lo por meio do conhecimento científico.

À minha família, que sempre esteve a me acompanhar, aonde quer que eu estivesse, superando com seus sentimentos, a distância física, que por vezes nos separava.

A todos os colegas de trabalho do Grupo de Recursos Hídricos da UFBA, pela capacidade em superar as dificuldades da pesquisa científica no Brasil, com alegria e companheirismo.

À Prof<sup>a</sup>. Yvonilde Medeiros e ao Prof. Bojan Srdjevic, minhas duas grandes referências, não só como pesquisadores, mas também como amigos especiais.

À FAPESB – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Bahia, de onde o autor é bolsista.

A humanidade não via claramente, de forma acessível,  
o estrago que andava fazendo em sua própria casa.

De repente, ela colocou óculos de grau e percebeu...  
...que quase todas as paredes estão arranhadas,  
...que a cortina da sala está rasgada em vários pontos,  
...que a torneira da pia está quebrada,  
... que o piso não é texturizado, ele está todo rachado,  
... e a porta de entrada não é amarela, ela era branca,  
... além disso,  
... existe um grande buraco no telhado,  
tornando os períodos de verão,  
mais quentes na casa...  
... alguns o chamam de buraco do ozônio.

Edílson Raimundo Silva



## RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo investigar a aplicação da análise multicriterial, numa abordagem baseada em lógica difusa, em apoio à tomada de decisão no gerenciamento de águas, especificadamente com relação ao estabelecimento de um regime de vazões ecológicas, tendo como o estudo de caso, o baixo curso do rio São Francisco. Para efetuar a pesquisa, inicialmente foram investigadas as características ambientais (físicas, sociais, econômicas e ecológicas) da área em estudo, que possam ser relevantes para a problemática do estabelecimento de um regime de vazões ecológicas. Os resultados da análise do contexto ambiental da área de estudo serviram como base para a construção de um modelo de representação das relações causa-efeito, um modelo da estrutura de procedimentos envolvidos e um modelo da dinâmica do fluxo hídrico. A representação do conhecimento em modelos ambientais tem o objetivo de auxiliar os tomadores de decisão a identificar os elementos constituintes do processo decisório e tornar a decisão demonstrável, através das relações causais, esquemas cognitivos e valores numéricos. Dados e resultados dos modelos criados foram inseridos em procedimentos de análise multicriterial. Para isto, foram escolhidos quatro métodos de análise multicriterial e estes métodos foram implementados em um aplicativo computacional programado para avaliar alternativas utilizando os métodos escolhidos, sob lógica clássica e lógica difusa. Com uma interface comparativa, o aplicativo utilizou dados e estudos provenientes do processo de determinação das vazões ecológicas na área de estudo, principalmente do Grupo de Recursos Hídricos (GRH) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), através da rede de pesquisadores ECOVAZÃO (CNPq/CT-HIDRO) e do projeto AMODOUTOR (Abordagem Multiobjetivo para Decisão de Outorga). Experimentos feitos com o uso do aplicativo foram analisados para verificação da aplicabilidade da lógica difusa à tomada de decisão quanto ao estabelecimento de um regime de vazões ecológicas para o baixo curso do rio São Francisco. Como resultado final, constatou-se a grande importância da modelagem ambiental na representação dos fenômenos naturais, pois seus dados e resultados podem ser inseridos em procedimentos de análise multicriterial. Verificou-se também a aplicabilidade da lógica difusa nestes procedimentos através dos resultados comparativos dos experimentos realizados com o aplicativo computacional criado. Nas comparações, a análise multicriterial difusa se mostrou mais sensível ao comportamento das variáveis ambientais (indicadores) que a análise multicriterial clássica. A metodologia contou com um processo de interação com as Câmaras Técnicas (CT's) do Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF), ocorrido entre 2006 e 2008.

Palavras-chave: Gerenciamento de Recursos Hídricos; Vazão Ecológica; Análise Multicriterial; Lógica Difusa.

## ABSTRACT

This research aims to investigate the application of multicriterial analysis, an approach based on Fuzzy Logic, to support decision making in water management, specifically with regard to the establishment of a regime of environmental flows, with the case study the low the River San Francisco. To perform the research, were initially investigated the environmental characteristics (physical, social, economic and ecological) of the area under study, which may be relevant to the issue of establishing a system of ecological flows. The results of the environmental context of the study area were used on building of a model of the representation of cause-effect relationships, a model of the structure of the procedures involved and other model of the dynamics of water flow. The representation of knowledge in environmental models aims to help the decision-makers to identify the elements of the process and makes the decision demonstrable through causal relationships, cognitive schemes and figures. Data and results of the models created were included in the analysis procedures multicriterial. To this, were chosen four methods of analysis multicriterial and these methods were implemented in a computer application programmed to evaluate alternatives using the methods chosen, in classical logic and logic diffuse. With a comparative interface, the application used data and studies from the process of determining the environmental flows in the study area, mainly the Group of Water Resources (GRH) of the Federal University of Bahia (UFBA) through the ECOVAZÃO network (CNPq/CTHIDRO) and through the project AMODOUTOR (Multiobjective Approach Decision to Grant). Experiments made with the use of the application were analyzed to verify the applicability of the logic of diffuse decision making regarding the establishment of a system of environmental flows to the lower course of the river San Francisco. As a result, it was verified the great importance of environmental modeling in the representation of natural phenomena, because their data and results can be entered in proceedings for review multicriterial. It was also verified the applicability of these procedures by diffuse logic of comparative results of experiments performed with the computer application created. In comparison, the diffuse multicriterial analysis was more sensitive, that classical multicriterial analysis, to the behavior of environmental variables (indicators) used. The methodology involved a process of interaction with the Chambers Techniques (CT's) of the Watershed Committee of San Francisco (CBHSF), occurred between 2006 and 2008.

Keywords: Management of Hydric Resources; Environmental Flow; Multicriterial Analysis; Fuzzy Logic.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Distribuição das águas no planeta.	21
Figura 2	- Ciclo Hidrológico.	31
Figura 3	- Fluxo de água subterrânea.	32
Figura 4	- Fragmento de modelo representando algumas relações de um ecossistema.	34
Figura 5	- Estrutura de representação da rede hídrica no MODSIM.	35
Figura 6	- Modelo de processo de tomada de decisões usado até 1985.	39
Figura 7	- Estrutura do processo decisório ligado a perspectivas.	42
Figura 8	- Representações gráficas da função de pertinência.	67
Figura 9	- Representação gráfica e matemática da função de pertinência triangular.	68
Figura 10	- Representação gráfica e matemática da função de pertinência trapezoidal.	68
Figura 11	- Representação gráfica e matemática da função de pertinência "S".	68
Figura 12	- Aplicação da função de pertinência da normalidade de temperatura de um forno.	69
Figura 13	- A estrutura deste trabalho de pesquisa, dividida em tópicos de estudo.	73
Figura 14	- Abstração da disposição dos eco-subsistemas do modelo qualitativo.	77
Figura 15	- Fuzzificação dos indicadores, forma aplicada a esta pesquisa.	80
Figura 16	- Bacia do rio São Francisco, sua posição geográfica relativa ao continente.	87
Figura 17	- Bacia do rio São Francisco, mostrando sua divisão em sub-bacias.	88

	11
Figura 18 - Baixo curso da bacia do rio São Francisco e sua localização no país.	89
Figura 19 - Foz do rio São Francisco, formado por um delta dominado por ondas.	90
Figura 20 - Reunião do CBHSF com representantes da ANA.	91
Figura 21 - Modelo conceitual, construído com base na análise dos procedimentos observados no processo decisório para identificação de um regime de vazões ecológicas no baixo São Francisco.	96
Figura 22 - Fragmento que representa aspectos hidrológicos do ecossistema da região.	98
Figura 23 - Fragmento que representa aspectos geológicos do ecossistema da região.	99
Figura 24 - Fragmento que representa aspectos sociais do ecossistema da região.	100
Figura 25 - Fragmento que representa aspectos climatológicos do ecossistema da região.	101
Figura 26 - Fragmento que representa aspectos geofísicos do ecossistema da região.	102
Figura 27 - Fragmento que representa aspectos biológicos do ecossistema da região.	102
Figura 28 - Estrutura da rede hídrica montada no MODSIM.	106
Figura 29 - Estrutura do Módulo de Análise Multicriterial Clássica – SAMClass.	112
Figura 30 - Estrutura do Módulo de Análise Multicriterial Difuso – SAMDif.	112
Figura 31 - Árvore (forma geral) de decisão, com famílias de critérios.	113
Figura 32 - Registros de alternativas a analisar.	116
Figura 33 - Funções de pertinência definidas para o indicador <i>Vazão Máxima</i> .	117
Figura 34 - Função de pertinência definidas para o indicador <i>Vazão Mínima</i> .	117

	12
Figura 35 - Funções de pertinência definidas para o indicador <i>Vazão Média</i> .	117
Figura 36 - Funções de pertinência definidas para o indicador <i>AtendMedioDemanda</i> .	117
Figura 37 - Funções de pertinência definidas para o indicador <i>AtendTotalDemanda</i> .	118
Figura 38 - Funções de pertinência definidas para o indicador qualitativo <i>Conforto</i> .	118
Figura 39 - Funções de pertinência definidas para o indicador qualitativo <i>Segurança</i> .	118
Figura 40 - Funções de pertinência definidas para o indicador qualitativo <i>Satisfação</i> .	118
Figura 41 - Definição da estrutura da árvore de decisão usada pelos experimentos.	119
Figura 42 - Árvore de decisão, ponderada para o experimento 1.	121
Figura 43 - Esquema de critérios e prioridades do experimento 1 no SAM.	121
Figura 44 - Tela de resultados numéricos do experimento 1.	122
Figura 45 - Tela de resultados gráficos do experimento 1.	123
Figura 46 - Árvore de decisão, ponderada para o experimento 2.	125
Figura 47 - Esquema de critérios e prioridades do experimento 2 no SAM.	126
Figura 48 - Tela de resultados numéricos do experimento 2.	126
Figura 49 - Tela de resultados gráficos do experimento 2.	128
Figura 50 - Árvore de decisão, ponderada para o experimento 3.	130
Figura 51 - Esquema de critérios e prioridades do experimento 3 no SAM.	131
Figura 52 - Tela de resultados numéricos do experimento 3.	131
Figura 53 - Tela de resultados gráficos do experimento 3.	133
Figura 54 - Modelo qualitativo que representa elementos do ecossistema do baixo São Francisco.	155
Figura 55 - Tela inicial do Sistema de Análise Multicriterial Difusa.	156

Figura 56 - Tela de registro dos regimes de vazões, passíveis de análise.	157
Figura 57 - Tela de registro de séries de dados adicionais.	158
Figura 58 - Tela de acesso aos modelos de representação do sistema.	159
Figura 59 - Tela de apresentação de um modelo qualitativo causal.	160
Figura 60 - Tela de acesso aos indicadores gerais do sistema.	161
Figura 61 - Tela de registro das variáveis difusas.	162
Figura 62 - Forma inversa da função de pertinência da variável difusa.	162
Figura 63 - Tela de acesso às alternativas a serem analisadas pelo sistema.	163
Figura 64 - Tela de valores dos indicadores quantitativos de uma alternativa.	164
Figura 65 - Tela dos indicadores qualitativos de uma alternativa e janela de possíveis valores.	165
Figura 66 - Tela de registro dos critérios e indicadores da análise multicriterial.	166
Figura 67 - Janela mostrando a escala (logarítmica) de atribuição de importância (peso) relativa para ponderação dos critérios e seu correspondente gráfico de valores.	167
Figura 68 - Tela de apresentação numérica dos resultados do processamento dos métodos multicriteriais, aplicados sob lógica clássica e sob lógica difusa.	168
Figura 69 - Tela de apresentação gráfica dos resultados do processamento dos métodos multicriteriais, aplicados sob lógica clássica e sob lógica difusa.	169
Figura 70 - Janela de apresentação da teoria sobre os métodos multicriteriais estudados.	169

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Prioridades de atendimento do reservatório e das demandas simulados no MODSIM.	106
Tabela 2	- Valores ( $m^3/s$ ) das demandas consideradas nas simulações no MODSIM, para o reservatório de Sobradinho.	106
Tabela 3	- Vazões naturais ( $m^3/s$ ) no reservatório de Sobradinho nos 25 anos da simulação.	107
Tabela 4	- Cenários de séries de vazões mensais gerados pelo MODSIM, com análise da semelhança das séries a serem utilizadas.	108
Tabela 5	- Vazões geradas pelo MODSIM, escolhidas para análise.	108
Tabela 6	- Cenários da rede ECOVAZÃO, com séries de vazões mensais, para análise do SAM.	110
Tabela 7	- Cenário referência, obtido a partir da série de vazões naturais, obtido a partir de séries de vazões naturais ( $m^3/s$ ) do ONS (2010).	111
Tabela 8	- Conjunto total de cenários de séries de vazões utilizados nos experimentos com o SAM.	111
Tabela 9	- Séries de vazões, obtidas do ONS, utilizados como limitações para as alternativas.	111
Tabela 10	- Descrição das famílias da árvore de decisão da Figura 31.	113
Tabela 11	- Valores dos indicadores (clássicos e difusos) disponíveis para os cenários.	120
Tabela 12	- Dados do ponderamento da árvore de decisão para o experimento 1.	121
Tabela 13	- Árvore de Decisão ponderada para o experimento 2.	125
Tabela 14	- Árvore de Decisão ponderada para o experimento 3.	130
Tabela 15	- Séries de dados disponíveis para os indicadores.	170
Tabela 16	- Observações das séries de dados apresentadas a Tabela 16.	170

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMODOUTOR	Abordagem Multiobjetivo para Decisão de Outorga.
ANA	Agencia Nacional de Águas, do Ministério do Meio Ambiente.
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
AHP	Analytic Hierarchy Process – Processo Analítico Hierárquico.
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior, do Ministério da Educação.
CBHSF	Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco.
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisas e Desenvolvimento.
CI	Consistency Index – Índice de Consistência.
CP	Compromisse Programming – Programação por Compromisso.
CR	Consistency Ratio – Razão de Consistência.
CTOC	Câmara Técnica de Outorga e Cobrança.
CT-HIDRO	Fundo Setorial para os Recursos Hídricos
DEA	Departamento de Engenharia Ambiental, da UFBA.
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Realite – Eliminação e Escolha Traduzindo a Realidade.
FTOPSIS	Fuzzy TOPSIS – TOPSIS Fuzzificado.
FWA	Fuzzy Weighted Average – Média Ponderada Fuzzificada.
FWAR	Fuzzy Weighted Additive Rule – Regra de Ponderação Aditiva Fuzzificada.
GIS	Geographic Information System – Sistema de Informação Geográfica.
GRH	Grupo de Recursos Hídricos, do DEA.



IA	Inteligência Artificial.
IEMSS	International Environmental Modelling and Software Society
LABSID	Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisão - USP
MADM	Multi-Attribute Decision Making – Tomada de Decisão Multi-Atributo.
MCDM	Multi-Criteria Decision Making – Tomada de Decisão Multi-Criterial.
MEW	Multiplicative Exponential Weighting – Ponderação Exponencial Multiplicativa.
MF	Model Fragments – Fragmentos de Modelos.
MS	MicroSoft Corporation.
PROMETHEE	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation – Método para Otimização de Avaliação pela Organização Classificatória da Preferência.
RA	Ranking of Alternative – Classificação da Alternativa
RGMM	Row Geometric Mean Method – Método de Ordenação pela Média Geométrica.
RI	Random Index – Índice Randômico.
SAD	Sistema de Apoio à Decisão.
SAW	Simple Additive Weighting – Ponderação Aditiva Simples.
SCP	Spacial Compromisse Programming – Programação Espacial por Compromisso.
SQL	Strutured Query Language (Linguagem de Pesquisa Estruturada).
SPW	Simple Product Weighting – Ponderação de Produto Simples.
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution – Técnica para Ordenação de Preferência pela Semelhança com a Solução Ideal.
TQP	Teoria Qualitativa de Processos.
UFAL	Universidade Federal de Alagoas.

UFBA	Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
UnB	Universidade de Brasília.
UNESCO-IHE	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – Institute for Water Education.
USP	Universidade de São Paulo
WGMM	Weighted Geometric Mean Method – Método de Ponderação pela Média Geométrica.
WP	Weighted Product – Ponderação do Produto.
WPM	Weighted Product Model – Modelo de Ponderação do Produto.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	20
1.1	OBJETIVOS .....	26
1.1.1	Objetivo Geral da Pesquisa .....	26
1.1.2	Objetivos Específicos.....	26
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	27
1.3	RELEVÂNCIA DO TRABALHO .....	29
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	31
2.1	MODELAGEM AMBIENTAL .....	31
2.1.1	Modelagem Qualitativa .....	33
2.1.2	Modelagem Quantitativa .....	35
2.1.3	Modelagem Conceitual .....	38
2.2	O PROCESSO DECISÓRIO .....	39
2.2.1	Aspectos Gerais.....	39
2.2.2	O Processo Decisório Ambiental .....	43
2.3	O REGIME DE VAZÕES ECOLÓGICAS .....	45
2.4	SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO.....	49
2.5	A ANÁLISE MULTICRITERIAL.....	53
2.5.1	A Matriz de Decisão .....	56
2.5.2	SAW – Simple Additive Weighting .....	57
2.5.3	SPW – Simple Product Weighting.....	58
2.5.4	CP – Compromise Programming .....	60
2.5.5	TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution .....	62
2.5.6	Estudos Comparativos entre os Métodos Selecionados .....	65
2.6	A LÓGICA DIFUSA (FUZZY LOGIC) .....	66
2.7	MÉTODOS MULTICRITERIAIS APLICADOS SOB LÓGICA DIFUSA .....	70
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	71
3.1	CONTEXTO GERAL DE PROCEDIMENTOS .....	71
3.2	SEGMENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO .....	74
3.3	MODELAGEM DO PROCESSO DECISÓRIO E DO ECOSSISTEMA .....	75
3.4	ESTUDO DOS MÉTODOS MULTICRITERIAIS .....	78
3.5	ESTUDOS DA LÓGICA DIFUSA.....	79
3.6	CONSTRUÇÃO DE UM APLICATIVO MULTICRITERIAL .....	81
3.7	REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS .....	82
3.8	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS .....	84
<b>4</b>	<b>CASO DE ESTUDO: O BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO</b> .....	86
4.1	CONTEXTO AMBIENTAL: A BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO.....	87
4.2	CONTEXTO AMBIENTAL ESPECÍFICO: O BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO .....	89
4.3	CONTEXTO POLÍTICO: O COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – CBHSF .....	91
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA</b> .....	93
5.2	CRIÇÃO DO MODELO QUALITATIVO.....	97
5.2.1	Fragmento 1: Aspectos Hidrológicos .....	97

5.2.2	Fragmento 2: Aspectos Geológicos .....	98
5.2.3	Fragmento 3: Aspectos Sociais .....	99
5.2.4	Fragmento 4: Aspectos Climatológicos.....	100
5.2.5	Fragmento 5: Aspectos Geofísicos .....	101
5.2.6	Fragmento 6: Aspectos Biológicos.....	102
5.2.7	Integração dos Fragmentos do Modelo.....	103
5.3	UTILIZAÇÃO DO MODELO QUANTITATIVO .....	105
5.4	UTILIZAÇÃO DE OUTROS HIDROGRAMAS COMO ALTERNATIVAS	109
5.5	DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DO APLICATIVO MULTICRITERIAL...	112
5.6	EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O SISTEMA CONSTRUIDO.....	116
5.6.1	Experimento 1 .....	121
5.6.2	Experimento 2 .....	125
5.6.3	Experimento 3.....	130
5.7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	135
6	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	139
7	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	144
	APENDICE A.....	155
	APENDICE B.....	156
	ANEXO 1.....	170

## 1 INTRODUÇÃO

A tarefa do gerenciamento de águas em regiões, onde se verificam conflitos de uso, constitui um grande desafio, para qualquer órgão ou entidade que tenha esta atribuição. Métodos e técnicas que auxiliem nesta tarefa devem incluir em suas capacidades, procedimentos avançados de tomada de decisão. Estes procedimentos devem ter a capacidade de representar e simular possíveis cenários, considerando a diversidade de interesses locais, requisitos ecológicos mais severos, aspectos técnicos operacionais difíceis e incertezas das situações climáticas. É necessário que estes procedimentos sejam implementados de forma não determinística, procurando diminuir a distância entre os mecanismos matemáticos precisos e os processos cognitivos utilizados pelos seres humanos para análise e conceituação da realidade.

O gerenciamento de águas implica ainda no estudo ambiental de diversos fatores ligados às questões específicas da região em foco, no caso desta pesquisa, o baixo curso do rio São Francisco. Os aspectos particulares desta região são pontos de partida para o estudo de métodos gerenciais adequados, os quais devem tratar a complexidade do processo decisório ambiental em regiões com conflitos na alocação dos recursos hídricos, além de prover ferramentas de conversão de valores

do mundo real e valores arbitrários humanos em valores matemáticos, computáveis por um sistema de informação.

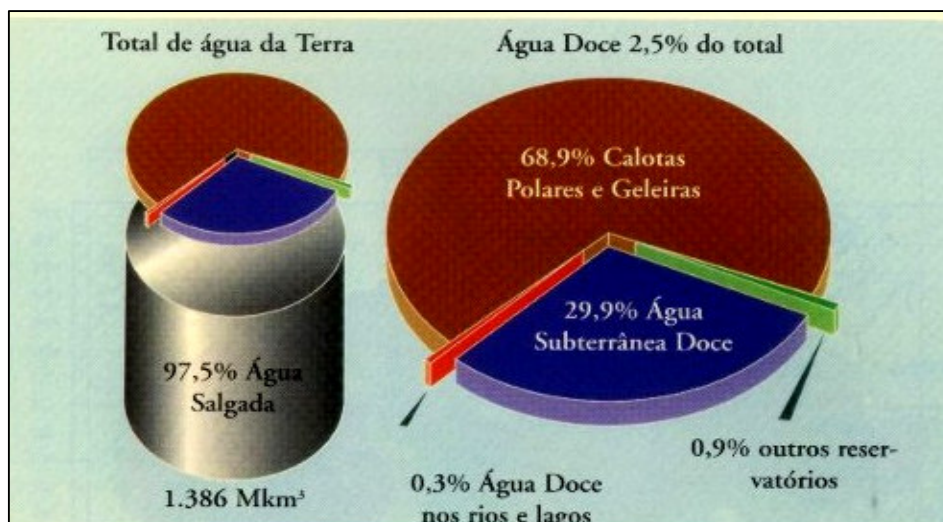


Figura 1: Distribuição das águas no planeta. Fonte: DRMRJ (2009).

Quando se avalia a limitação que existe na quantidade de água doce no planeta (Figura 1), verifica-se a necessidade do desenvolvimento de mecanismos eficientes de gerenciamento deste recurso natural básico, imprescindível à vida orgânica. Enquanto a população mundial cresce a todo o tempo, com o advento de melhores condições sanitárias e de serviços médicos, as condições dos corpos d'água se deterioram, num ritmo acelerado e silencioso. Este crescimento humano desordenado tem implicações negativas, do ponto de vista ambiental, principalmente sobre os recursos hídricos, que apresentam muitos sintomas de “*estafa ambiental*”, isto é, a falta de condições do ecossistema, para se recuperar de agressões antrópicas ao equilíbrio de suas relações de sustentabilidade, DRMRJ (2009).

No seu aspecto jurídico, o gerenciamento das águas deve ser participativo e contemplar os interesses da maioria dos usuários, propiciando a destinação das águas aos seus vários propósitos, de acordo com prioridades definidas na legislação

ambiental. Assim então, pode-se resumir a complicação do processo com a questão: Como aperfeiçoar o gerenciamento das águas em uma bacia hidrográfica de forma a atender a múltiplos objetivos, considerando a diversidade no nível técnico dos gestores, os vários critérios atualmente utilizados para tomadas de decisão e as implicações ambientais destas decisões?

A representação do conhecimento é o ponto de partida para as demais conjecturas, quando se trata de processo de apoio à decisão. Sistemas de informação que usam técnicas sofisticadas e procedimentos matemáticos complexos são baseados em parâmetros de configuração definidos pelos usuários destes sistemas. Estes usuários necessitam compreender, de forma mais completa possível, o contexto de sua decisão, para que possam fazer uso de tais técnicas com objetividade e eficiência. Neste contexto, observa-se o aparecimento dos Sistemas de Apoio à Decisão (SAD's), onde são agrupados e disponibilizados elementos facilitadores do processo decisório, núcleo das tarefas gerenciais. Os SAD's reúnem métodos e técnicas que auxiliam pessoas isoladas ou em grupo a resolver questões ligadas a áreas específicas de conhecimento. Os métodos utilizados por um SAD incluem pesquisas nas áreas de: psicologia, sociologia, teoria da informação e pesquisa operacional, na qual a análise multicriterial é uma técnica que busca otimizar o processo de representação e tratamento das preferências dos tomadores de decisão, utilizando valores objetivos e subjetivos dentro de um enfoque matemático. Técnicas empregadas para implementar ambientes de suporte à decisão envolvem prioritariamente a representação do conhecimento e o tratamento da informação, que é um elemento básico na tomada de decisão.

Com a compreensão dos fatores que envolvem o processo decisório, os tomadores de decisão têm a capacidade de identificar e analisar as alternativas, com respeito a fatores que têm para si, relevante importância. Estes são os seus critérios de decisão. Estes critérios são então, ponderados entre si e valorados por indicadores, escolhidos entre um conjunto de atributos das alternativas. A racionalidade destes procedimentos não necessariamente obterá a melhor decisão, mas mostrará razões para uma alternativa ser escolhida, dentre outras.

Como primeiro momento desta pesquisa, a *modelagem ambiental* busca representar questões relevantes, associadas ao estabelecimento de um regime de vazões ecológicas na região do baixo curso do rio São Francisco. A abordagem metodológica aplicada se baseia na compreensão e representação de um subconjunto dos esquemas lógico-causais, que envolvem o processo de estabelecimento de um regime de vazões ecológicas em uma bacia hidrográfica de grandes dimensões, como é a bacia do rio São Francisco. Este conhecimento, então modelado de forma qualitativa, quantitativa e conceitual, fornece elementos para que técnicos, especialistas e tomadores de decisão, conjuntamente elaborem estruturas de decisão objetivas, criadas a partir de levantamentos científicos. Este conhecimento constitui a base de um SAD, onde são introduzidos parâmetros subjetivos, representando a participação dos decisores, através de suas preferências.

Em um segundo momento, o conhecimento de especialistas e as preferências de decisores são submetidos a métodos de análise multicriterial em um aplicativo computacional. Este aplicativo permite aos decisores representar o



problema através das questões mais relevantes (critérios de escolha) e do conhecimento científico (indicadores ambientais e cenários possíveis). A intenção predominante é de auxiliar os tomadores de decisão a efetuar suas análises, estabelecendo os padrões de avaliação das alternativas de decisão com base em conhecimentos comprovados, representados em estruturas de fácil compreensão, utilização e adaptação. Dentro deste objetivo, procurou-se utilizar ferramentas simples e funcionais, que possam ser utilizadas por todos.

Completando os objetivos desta pesquisa, faz-se um exame avaliativo do comportamento de metodologias de análise multicriterial, utilizando indicadores que têm seu comportamento representado por funções não-lineares, onde o impacto da variação de um aspecto do ecossistema é tratado de forma progressiva através da utilização de lógica difusa. Isto é, valores numéricos de indicadores são transformados em graus de pertinência a conjuntos, que representam características ambientais que se deseja considerar. A aplicação da lógica difusa é investigada principalmente, no sentido de ser capaz de melhorar a representação e utilização do conhecimento científico desenvolvido por especialistas, como base de um processo decisório, focado na aplicação de mecanismos de análise multicriterial.

O nível de complexidade que se verifica no processo de estabelecimento de um regime de vazões ecológicas faz com que esta pesquisa limite-se a analisar esta problemática do ponto de vista dos estudos já estabelecidos e consagrados, representando uma parte do conhecimento atual dos pesquisadores. Apesar disto, são criadas possibilidades para que, a qualquer tempo, novos conhecimentos possam ser incorporados à base de dados e ao modelo utilizado, pois o objetivo da

pesquisa é utilizar uma abordagem que aperfeiçoe o tratamento do conhecimento de problemas ambientais complexos, como o gerenciamento de recursos hídricos.

Importante também é salientar que esta pesquisa objetiva estudar o processo de identificação de um regime de vazões ecológicas, do ponto de vista sistêmico, isto é, como um todo formado por partes. Existem métodos de avaliação ambiental para escolha de regimes de vazões ecológicas que, na abordagem desenvolvida por esta pesquisa, mostram segundo seus mecanismos de análise, qual o cenário mais adequado para se atingir uma determinada condição do ambiente, como o equilíbrio entre seus componentes. Esta pesquisa não aborda propriamente nenhum destes métodos, mas investiga o componente humano não só como um elemento vivente, mas como agente de mudanças impactantes, que devem ser gerenciadas de forma minimizar os desequilíbrios ecológicos, implantando a cultura da sustentabilidade ambiental.

Sabemos que a ocupação antrópica tem preponderante influência sobre as interrelações que formam a estrutura do ecossistema da região em estudo. Estruturas artificiais como grandes barramentos, interferem de forma decisiva na manutenção dos níveis de vazão no rio e o gerenciamento de recursos hídricos é uma função que vem tendo, a cada dia que passa, maior importância no contexto da organização governamental da região. Esta pesquisa se propõe a investigar um “conjunto” de procedimentos para identificação de um regime de vazões ecológicas e seria equivocado supor que um regime de vazões poderia ser considerado ecológico, sem levar em conta o bem estar humano, representado na figura dos grupos de interesse dentro de um comitê gestor de bacia.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral da Pesquisa

Esta pesquisa se propõe a avaliar a aplicabilidade de métodos de análise multicriterial, utilizados sob lógica difusa, à tomada de decisão para o estabelecimento de vazões ecológicas no baixo curso do rio São Francisco.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Representar em Modelos Ambientais, ecossistemas associados ao regime de vazões ecológicas.
- b) Implementar métodos de Análise Multicriterial como apoio à tomada de decisão para estabelecimento de um regime de vazões ecológicas.
- c) Analisar a aplicabilidade da Lógica Difusa (Fuzzy Logic) a procedimentos de análise multicriterial.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Esta dissertação é composta de sete capítulos. O capítulo 1 contém a introdução, onde são colocados alguns aspectos sobre o gerenciamento de recursos hídricos e a necessidade de procedimentos computacionais avançados para tratar o grau de complexidade que o tema apresenta. Dentro deste contexto, os *sistemas de apoio à decisão* são colocados como ferramentas dedicadas à melhoria do processo gerencial. Neste capítulo são também descritos, os objetivos, as limitações e a relevância desta pesquisa.

O referencial teórico, situado no capítulo 2, relaciona conceitos, definições e paradigmas atuais de pesquisadores em torno do tema das vazões ecológicas. Este tema é subdividido em tópicos relevantes para a abordagem tratada aqui. Eles incluem: modelagem ambiental; processo decisório; o regime de vazões ecológicas; sistemas de apoio à decisão; análise multicriterial e; lógica difusa. Por envolver tantos assuntos, este capítulo é um dos mais extensos do texto.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada. Esta descrição mostra inicialmente um quadro geral do trabalho, especificando em blocos interligados, os elementos preponderantes em estudo. Posteriormente, é apresentada a seqüência de tarefas que são executadas para a montagem dos experimentos e experimentação da abordagem. Esta seqüência baseia-se nos *passos* elementares do desenvolvimento de qualquer sistema de informações, eles são: (1) adquirir conhecimento sobre o problema; (2) construir os mecanismos para tratar a informação e; (3) montar a interface, especificando a interação entre a

solução construída e o meio físico. No caso desta pesquisa, o *passo 1* é representado pela modelagem ambiental, o *passo 2* é a análise multicriterial e o *passo 3*, é a lógica difusa.

O capítulo 4 discorre a respeito do estudo de caso da pesquisa, que é o baixo curso do rio São Francisco. A descrição deste contexto envolve três aspectos determinantes: (1) o contexto ambiental, que do ponto de vista sistêmico, deve considerar a bacia como um todo; (2) o contexto ambiental específico, onde o baixo curso do rio constitui um sub-ecossistema da bacia e; (3) o contexto político, que envolve o gerenciamento dos recursos hídricos da bacia.

No capítulo 5 é descrita a aplicação da metodologia ao estudo de caso escolhido. Nesta parte, são apresentados os modelos gerados pelo conhecimento compilado sobre elementos do ecossistema, detalhes de funcionamento do aplicativo computacional construído, dados e parâmetros utilizados, experimentos realizados, além da análise e discussão dos resultados.

As conclusões e recomendações foram situadas no capítulo 6, resumindo a interpretação dos resultados obtidos e vislumbrando outros horizontes para esta pesquisa. O capítulo 7 termina o texto da dissertação, com as considerações finais, nas quais são feitos comentários gerais, fechando o trabalho.

Após o término do texto, o apêndice A mostra o modelo qualitativo construído. O apêndice B, a descrição operacional do aplicativo construído e o anexo 1 apresenta séries anuais de dados, inseridos no aplicativo.

### 1.3 RELEVÂNCIA DO TRABALHO

O desenvolvimento de estudos sobre os processos decisórios, com características ambientais, que ocorrem no âmbito de um comitê de bacia hidrográfica, como o comitê do rio São Francisco, impõe muitos desafios, suscitando o comprometimento dos diversos atores participantes deste contexto. O papel dos organismos de pesquisa se torna então imprescindível na busca, estabelecimento e condução das estratégias de superação das dificuldades inerentes à resolução dos principais problemas ambientais, verificados no conjunto de atribuições de uma entidade eminentemente participativa, como é um comitê de bacia.

Um dos principais problemas enfrentados atualmente pelo comitê do rio São Francisco, é o estabelecimento de um regime de vazões ecológicas para o baixo curso do rio. Este empreendimento requer o esforço interdisciplinar e interinstitucional de muitos pesquisadores brasileiros e estrangeiros, que de forma conjunta, se aliam para estabelecer valores coerentes para o parâmetro “vazão ecológica”, cuja determinação se mostra inadiável para a implementação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, na região da bacia do rio São Francisco.

Uma contribuição deste trabalho, em relação ao que já foi feito a nível nacional na pesquisa sobre a aplicação de métodos multicriteriais, está na abordagem destas metodologias, feita sob a ótica da lógica difusa (Fuzzy Logic). Com o uso desta lógica, números, valores e conceitos são tratados como variáveis lingüísticas que não representam fronteiras “exatamente” definidas, mas que

interagem entre si, formando um corpo indivisível, característica mais evidente dos sistemas ambientais. Atualmente verifica-se um aumento considerável de publicações com resultados de experimentos, que se utilizam da abordagem difusa, em artigos de periódicos internacionais. No entanto, poucos trabalhos científicos sobre o processo decisório ambiental, baseado na lógica difusa, foram encontrados em publicações brasileiras, principalmente quando se consideram os trabalhos realizados na região Nordeste.

O estabelecimento de um regime de vazões ecológicas é uma das questões mais relevantes para o adequado gerenciamento ambiental de um curso hídrico, pois envolve o tratamento de demandas geralmente conflitantes e está associado a um contexto de causas e efeitos que envolve praticamente todo o ecossistema da região. Este trabalho objetiva participar da resolução desta questão, fornecendo dados e metodologias, conceitos e especificações, resultados e recomendações para procedimentos que efetivamente contribuam para o estabelecimento de um padrão científico na gestão ambiental.

A importância do estabelecimento de um padrão científico para o regime de vazões ecológicas se mostra mais evidente quando se percebe que esta tarefa deve servir como base para um conjunto imenso de outras decisões, como por exemplo: criação de rotas fluviais comerciais; procedimentos para revitalização dos ecossistemas; estabelecimento de épocas e cotas de pesca; definição de parâmetros para geração de energia elétrica; construção de estruturas de turismo e lazer.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MODELAGEM AMBIENTAL

Segundo Christofolletti (1999), os modelos são representações simplificadas da realidade, em suas características mais relevantes, dentro da perspectiva do modelador e limitações da metodologia de modelagem utilizada. Os modelos permitem a “reconstrução” de fenômenos, de forma objetiva, mas limitada por um escopo definido pelo grau de subjetividade do observador. Um modelo simples e representativo é o ciclo hidrológico, mostrado na Figura 2.

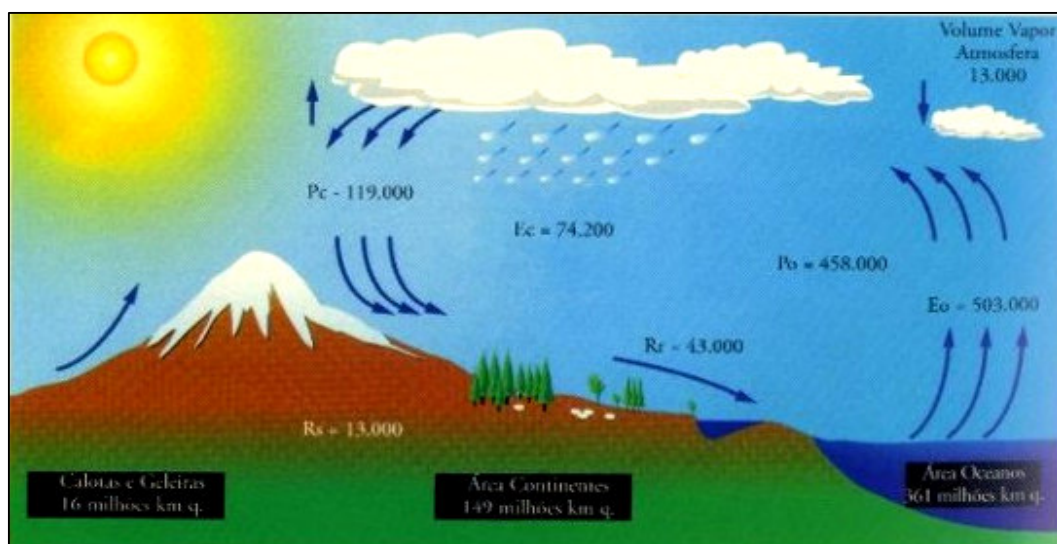


Figura 2: Ciclo Hidrológico. Fonte: DRMRJ (2009).



O estudo da problemática ambiental, relativa ao gerenciamento de águas, envolve prioritariamente nossa capacidade de representar o conhecimento da questão, seja no seu aspecto quantitativo, com a massa de dados hidráulicos, hidrológicos e climatológicos obtidos, seja no seu aspecto qualitativo, com a série de consultas feitas aos atores deste processo. Atualmente pode-se contar com um ferramental tecnológico que propicia a obtenção informações de outro nível, através de modelos matemáticos e programas de computador que simulam condições reais dos ecossistemas para ajustes viáveis, com respostas coerentes e erros aceitáveis (SRDJEVIC, 2003).

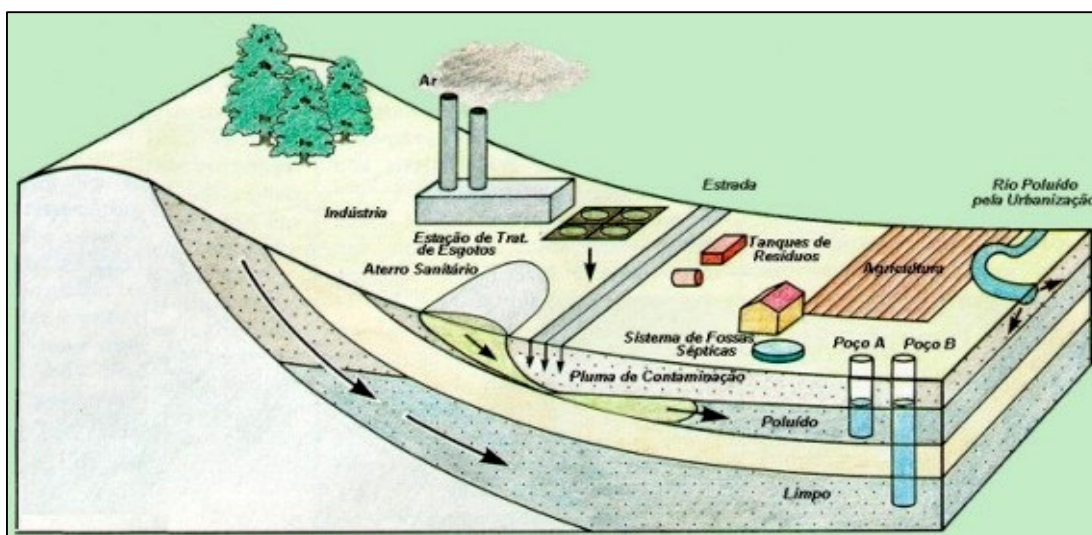


Figura 3: Fluxo de água subterrânea. Fonte: DRMRJ(2009).

Alguns efeitos da ocupação antrópica podem ser representados nos aquíferos através da análise do fluxo de água subterrânea (Figura 3). Programas de computador baseados em modelos podem simular o comportamento de elementos poluentes e determinar possíveis medidas de contingência para serem usadas tanto na fase de projeto de instalações, manutenção e monitoramento, prevenção e remediação de contaminações (SRDJEVIC, 2003).

### 2.1.1 Modelagem Qualitativa

A modelagem qualitativa aborda questões subjetivas e interações de causa-efeito e tem como base a abordagem centrada na análise dos processos, formulada na Teoria Qualitativa de Processos (TQP), seus conceitos foram propostos inicialmente por Forbus (1984). No nível de aplicação do qual é tratada neste trabalho, a TQP confere aos modelos qualitativos mecanismos de representação dos processos, como entidades ativas e taxas ou outras quantidades, como entidades de abstração de valores de estado.

As interações entre os componentes do modelo qualitativo são tratadas como *Influências Diretas* ou *Proporcionalidades Qualitativas*, as primeiras representadas por  $I+$  ou  $I-$ , sendo que  $I+$  significa que, a alteração da variante, altera aditivamente e de forma direta um processo subsequente. Reciprocamente, a representação  $I-$  significa alteração inversa. Na TQP. A outra componente está definida como a influência de *Proporcionalidade Qualitativa*, representada por  $P+$  e  $P-$ , estas representam os sentidos com que se propaga a alteração de um processo (SALES, 2006).

Para Araújo (2005), os modelos qualitativos permitem representar a realidade analisada em seus aspectos funcionais e fundamentais de maneira simbólica e simplificada, dando condições primárias de raciocínio para a compreensão mais profunda da complexidade dos fenômenos.

Em Anjos e Salles (2006), tem-se a especificação para as três

abordagens quanto aos modelos qualitativos, quais sejam: dirigida a componentes; dirigida a restrições; e a abordagem dirigida a processos. Nesta última abordagem, desenvolvida por Forbus (1984), são definidas entidades que têm capacidade ativa e interagem entre si, representando as relações de causa-efeito verificadas no universo que se deseja modelar.

Segundo Salles e outros (2006), uma das características dos modelos qualitativos é sua biblioteca de fragmentos (Figura 4), estes são os componentes estruturantes do modelo e representam sub-modelos com limitações conhecidas. Este tipo de modelagem, que usa sub-modelos como fragmentos, é conhecida como modelagem composicional e grupos de fragmentos podem ser organizados em uma ou mais bibliotecas, podendo ser usados em vários modelos específicos.

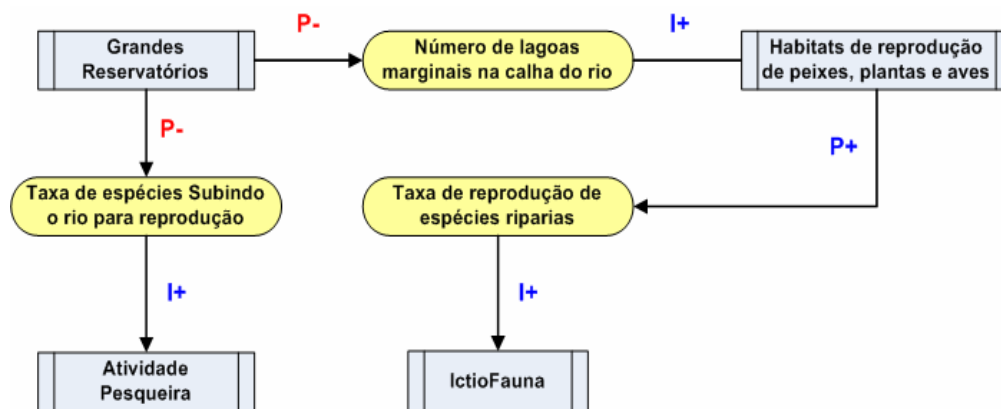


Figura 4: Fragmento de modelo representando algumas relações de um ecossistema.  
Fonte: Silva e Medeiros (2007).

Na modelagem qualitativa, os modelos, ou fragmentos de modelos, são criados para representar processos simples, também com um nível de representação simples, com abstração da realidade no nível de causas e efeitos. Estes modelos são muito úteis por representar, como um fluxo de eventos “ação-reação”, a lógica de funcionamento de um processo complexo (SILVA, 2007).

## 2.1.2 Modelagem Quantitativa

A modelagem quantitativa está associada a algoritmos que manipulam fórmulas e procedimentos. Atualmente existe um gama enorme de modelos quantitativos para os mais diversos fins. No âmbito deste trabalho de pesquisa utilizou-se um modelo de simulação do comportamento da rede hídrica, o MODSIM (LABADIE, 1988). O modelo MODSIM foi desenvolvido na Universidade Estadual do Colorado (EUA) como um modelo de programação linear para uso geral na simulação do comportamento de um fluxo hídrico. Utilizamos uma versão do MODSIM, desenvolvida na USP, o ACQUANET (LABSID, 2002).

O MODSIM utiliza uma representação da rede hídrica com “nós” e “arcos”, com valores de capacidade para cada arco. Seus componentes principais são: demandas, pontos de passagem e reservatórios. A Figura 5 mostra os elementos básicos de uma rede hídrica do MODSIM.

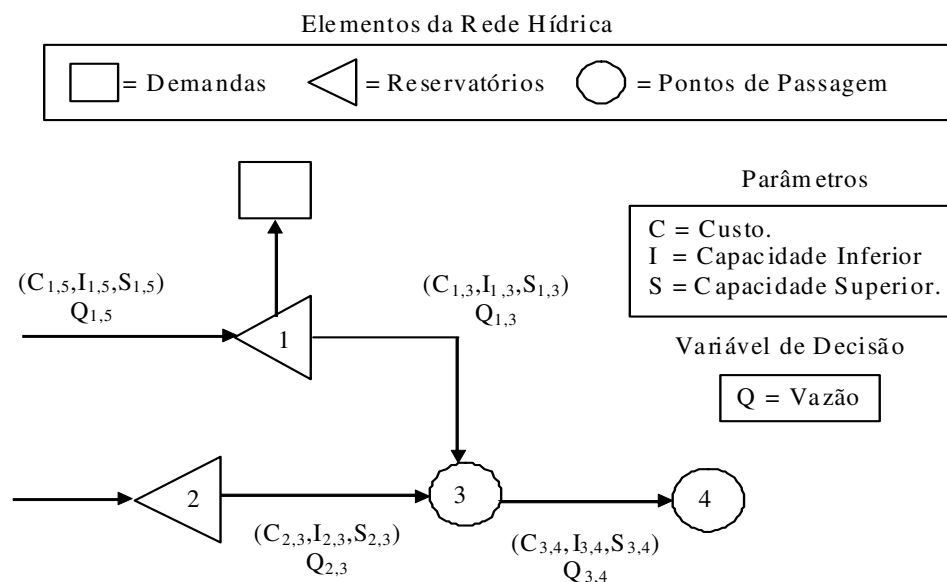


Figura 5: Estrutura de representação da rede hídrica no MODSIM.

Na rede hídrica utilizada pelo MODSIM cada “nó” pode ser um nó de entrada, ou seja, receber uma vazão afluyente e, se este nó for um reservatório, ele deve conter as características da estrutura. As capacidades dos arcos podem ser fixas ou variáveis e os custos podem ser positivos ou negativos. A fim de considerar as demandas, vazões afluentes e as normas de operação de reservatórios, o modelo cria nós e arcos “artificiais” para assegurar que o balanço de massa seja satisfeito em toda a rede. Todos os influxos, perdas por infiltração e vazões de retorno deve-se acumular nos nós, além disso, o sentido do fluxo em cada arco é fixo.

O MODSIM é capaz de lidar com vazões não regularizadas, perdas dos reservatórios por evaporação, demandas de água, canais, perdas por infiltração, vazões de retorno e águas importadas de outras bacias. Para efetuar o cálculo das vazões resultantes, o modelo utiliza o algoritmo “Out-of-Kilter”, cuja fundamentação matemática é apresentada nas fórmulas 2.1 e 2.2.

Minimizar:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (c_{i,j}) \cdot (Q_{i,j}) \quad (2.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in I_j} Q_{i,j} - \sum_{k \in O_j} Q_{j,k} = 0 \quad (2.2)$$

Onde,  $I_j$  = todos os nós que terminam no nó  $j$ ,  $O_j$  = Todos os nós que se originam no nó  $j$ ,  $Q_{i,j} \geq L_{i,j}$  (Vazão mínima) e  $Q_{i,j} \leq U_{i,j}$  (Vazão máxima).

A metodologia usada pelo modelo assume inicialmente valores para  $C_{i,j}$ ,  $L_{i,j}$ ,  $U_{i,j}$ , e resolve-se a rede. Dados os valores de  $Q_{i,j}$ , atualizam-se os parâmetros  $C_{i,j}$ ,  $L_{i,j}$  e  $U_{i,j}$ , com base nas vazões  $Q_{i,j}$ . Resolve-se novamente a rede e obtém-se novos valores para as vazões  $Q_{i,j}$ . Repete-se este procedimento até que as estimativas sucessivas de vazões permaneçam dentro de uma tolerância de erro definida pelo usuário.

O MODSIM apresenta como vantagens a característica de prover uma representação do sistema de recursos hídricos de forma adequada, realista, flexível e clara, além disso, seu algoritmo de otimização linear minimiza o custo total da rede, sendo possível se trabalhar com extensas redes. Como desvantagens, o modelo é limitado a trabalhar apenas com custos lineares e seu cálculo da perda por evaporação, que não é feito adequadamente.

Em Faria (2003) tem-se uma aplicação do modelo MODSIM (ACQUANET) analisando cenários de alocação ótima em reservatórios da bacia do rio Paraguaçu, na Bahia. Nesta aplicação, os resultados de saída do modelo são trabalhados para geração de indicadores de desempenho do sistema hídrico, sob os cenários analisados. Análise semelhante do MODSIM (MODSIM-P32) é encontrada em Faria e outros (2002) e Faria, Medeiros e Srdjevic (2004).

### 2.1.3 Modelagem Conceitual

Segundo Christofolletti (1999) os modelos conceituais ou “abstratos” representam o contexto da problemática, apresentando em um nível “entendível” pela maioria das pessoas, um quadro das principais partes do sistema, bem como suas interligações, de forma a exprimir de maneira resumida e direta os fenômenos envolvidos na situação.

Para Griffith e Toy (2005), os modelos conceituais podem representar situações físicas ou hipotéticas, que se queira analisar. De uma maneira geral os modelos conceituais são construídos sobre conhecimentos do senso comum, ou com pouco nível de elaboração.

Modelos conceituais podem auxiliar os tomadores de decisão na identificação e planejamento de ações, constituindo-se de representações idealizadas da realidade associada ao ponto de vista do sujeito que analisa a questão (ARAÚJO, 2005)

Segundo Sarmiento (2007), a modelagem conceitual é um dos elementos importantes do método de avaliação ambiental DFA (Demonstration Flow Assessment) e corresponde à identificação dos processos-chave e mecanismos pelos quais os recursos estudados são afetados, sendo a base para a definição de indicadores mensuráveis para a avaliação de cenários de vazão ecológica com observação direta dos habitats do rio para diferentes vazões.

## 2.2 O PROCESSO DECISÓRIO

### 2.2.1 Aspectos Gerais

O processo decisório é o elemento essencial ao estudo das técnicas de tomadas de decisão. Segundo Shim e outros (2002), o tipo mais comum de processo decisório utilizado antes de 1985 enfatizava a construção de modelos da realidade associados à análise de problemas. Uma vez que estes problemas eram identificados, sua definição se dava em termos da facilidade de criação dos modelos. Este esquema é apresentado na Figura 6.

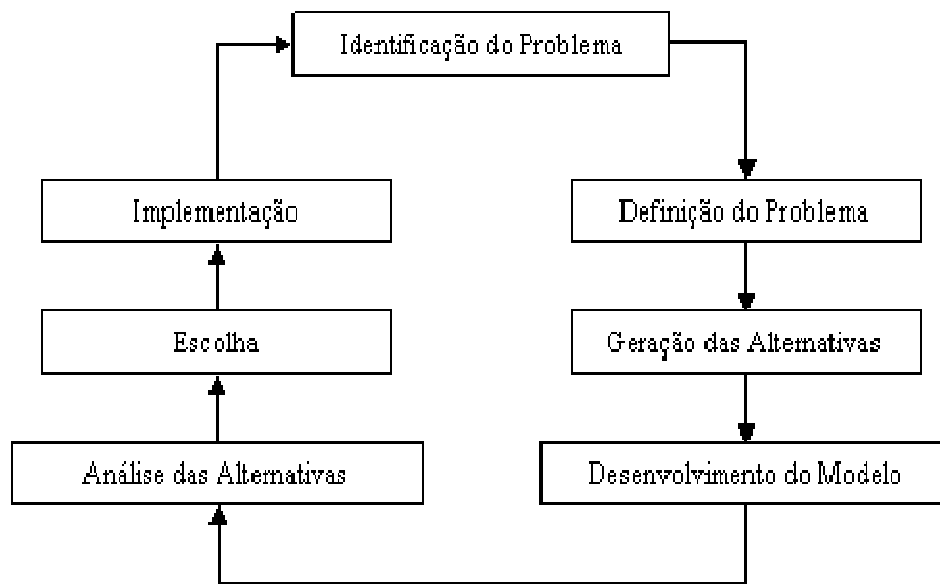


Figura 6: Modelo de processo de tomada de decisões usado até 1985. Fonte: Shim e outros (2002).

No final da década de 80, pesquisadores começaram a usar técnicas de inteligência artificial e sistemas especialistas em auxílio à tomada de decisão. Além disso, estudos sobre sistemas ambientais e organizações globais tecnologicamente mais complexas propiciaram a interação de aspectos sociais, políticos, econômicos,



culturais e ecológicos adicionando novos conceitos e pontos de vista ao processo decisório (SHIM e outros, 2002).

Mitroff e Linstone (1993) apud Shim e outros (2002) colocaram perspectivas de percepção da realidade com grande influência nos processos de tomada de decisão e relacionaram pontos de vista organizacional, pessoal e técnico associados a aspectos éticos e estéticos na construção de modelos mentais que representassem o núcleo do processo decisório moderno.

Segundo Shim e outros (2002), a abordagem de estruturação do processo decisório, que utiliza a perspectiva do decisor em seu mecanismo, é a mais indicada para a análise de problemas em geral (Figura 7), pois considera as tomadas de decisão intimamente relacionadas com os padrões de valores do decisor, caracterizando a metodologia participativa, adotada para a implantação dos novos organismos responsáveis pelo gerenciamento de recursos hídricos.

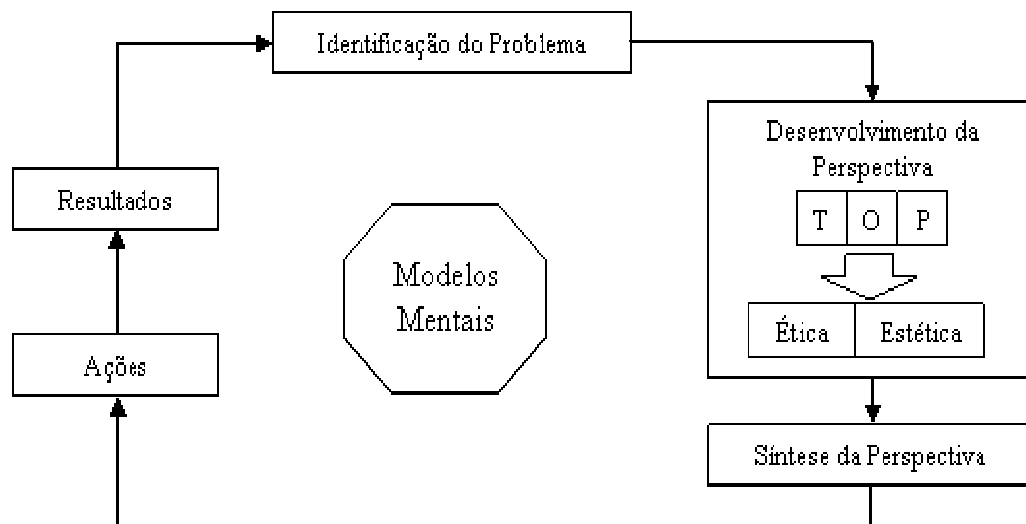


Figura 7: Estrutura do processo decisório ligado a perspectivas. Fonte: Shim e outros (2002).

Como apresentado na estrutura da Figura 7, a fase de “Identificação do Problema” é seguida pela compreensão da situação, que acontece a partir do “Desenvolvimento da Perspectiva”, considerando seus aspectos: técnico (T); organizacional (O) e; pessoal (P); sendo estes então, submetidos à análise crítica Ética e Estética. Concluído este procedimento, é feita a “Síntese da Perspectiva”, que integra todos os pontos de vista em uma única opinião formada sobre o assunto, desencadeando as “Ações” e, por conseguinte os “Resultados”.

Sendo assim, segundo Shim e outros (2002), o tratamento dado a um problema está diretamente ligado à pessoa que o enfrenta e que tem a responsabilidade de resolvê-lo, pois a visão sob as três perspectivas iniciais é influenciada pelo caráter ético e pela sensibilidade estética de quem as analisa. Segundo Porto e Azevedo (1997), o ser humano soluciona seus problemas através de dois elementos distintos: (a) informações, que é o conjunto de atributos para os objetos de uma determinada área de atuação e, (b) concepção intelectual, que faz a análise das variáveis e procura compreender como elas interagem. Este último elemento passou a ser conhecido como modelo ou modelagem da realidade e sua criação envolve, além dos aspectos citados acima, um certo grau de cognição e percepção das interrelações da estrutura e dinâmica ambiental.

Outro conjunto de procedimentos que se há de citar, no âmbito da prática dos processos decisórios aplicados a grupos de gestores, são os métodos de *escolha social* (social choice). Estes métodos são utilizados para se obter um conjunto de preferências único, sobre um universo de possibilidades definido, para

grupos de decisores. Segundo Srdjevic (2007), os métodos de escolha social mais utilizados são:

1. *Votação Pluralitária* (Plurality Voting), onde é feita uma enquete para que os decisores respondam individualmente sobre a colocação (ranking) que consideram para as alternativas, a alternativa que for mais vezes apontada como melhor, é considerada a escolhida, do ponto de vista grupal;
2. *Sistema Lebre* (Hare System), é um processo de votação pluralitária, onde as alternativas que tiverem obtido menos votos de “melhor” são eliminadas e a votação é reiniciada, repetindo-se o processo até que uma das alternativas tenha a maioria (simples) dos votos de “melhor”;
3. *Contagem de Borda* (borda count) consiste em um processo adicional à votação pluralitária onde cada alternativa ganha 1 (um) ponto para cada “último” lugar conseguido, 2 (dois) pontos para cada penúltimo, 3 pontos para cada antepenúltimo e assim por diante, constituindo-se a vencedora a alternativa com maior pontuação final;
4. *Votação por Comparação Par-a-Par* (Pairwise Comparisons Voting), que executa comparações entre duas alternativas de cada vez, quem vence a comparação ganha 1 (um) ponto e  $\frac{1}{2}$  (meio) ponto quando perde, ao final a que tiver mais pontos é escolhida;
5. *Votação por Aprovação* (Approval Voting) é considerado um método não-preferencial, nele cada decisor escolhe quantas alternativas quiser (do conjunto em análise) e a alternativa mais citada é escolhida.

### **2.2.2 O Processo Decisório Ambiental**

O universo dos problemas ambientais geralmente apresenta-se em um fluxo contínuo, partindo-se de um nível de complexidade básica, com poucas variantes e lógica simples, até um nível complexo, envolvendo aspectos intuitivos, incertos e vagos, não apresentando uma lógica explícita (Porto e Azevedo, 1997). Em se tratando de decisões de caráter ambiental, devem-se levar em consideração dois fatores essenciais para que a decisão obtenha um mínimo grau de satisfação entre os decisores: primeiro, deve haver uma grande integração entre as questões e o contexto ecológico, os objetivos sociais e as capacidades ou necessidades econômicas do local e da região, pois sem uma ampla e imparcial visão, as restrições de análise dos aspectos interrelacionais do problema podem levar a decisões equivocadas; segundo, é necessário que haja uma ativa participação popular em todo o processo decisório, o que levará, sem dúvida, a discussões sobre os diversos interesses envolvidos e direcionará as questões a serem levantadas. Isto requer que os setores representativos da sociedade estejam presentes nos fóruns de discussão, onde pesquisadores de várias áreas devem estar atentos aos desdobramentos implícitos nas decisões (SRDJEVIC e outros, 2002).

Sabe-se que decisões ambientais, quando mal analisadas, têm grande possibilidade de gerar ações que tenham resultados inaceitáveis, como: perdas de produções agrícolas; esgotamento de mananciais; salinização de solos; desertificação; superdimensionamento de empreendimentos; riscos para a saúde humana e de animais, podendo levar à extinção espécies que sejam mais sensíveis a desequilíbrios ecológicos (ALENCAR, 2003).

Considerando o aspecto filosófico do processo decisório, o elemento inicial e central, que motiva o processo decisório, é o *objetivo da decisão*, a questão a ser resolvida, ou ainda, o dilema, sobre o qual se quer decidir. Segundo O’Keeffe (2009) os objetivos, ou as questões que representam o problema, devem ser identificados em hierarquia, ou seja, do principal ou geral, para os específicos. É necessário também que sejam determinados indicadores (parâmetros) ou circunstâncias que possam ser utilizadas para saber se os objetivos foram atingidos com suficiente aceitação dos decisores. Em um segundo momento, são buscados procedimentos para se atingir os objetivos e é verificado se obtenção dos objetivos secundários (específicos) contribui efetivamente para o alcance do objetivo principal. Orientações utilizadas para a definição inicial dos objetivos são p.ex.: as condições de referência e a especificação da situação ambiental atual.

Sem uma definição clara do estado desejado, ou seja, dos objetivos, o gerenciamento ambiental eficiente estará seriamente comprometido, não sendo possível conduzir projetos isentos de conflitos, ou estes serão impraticáveis. Este estado desejado (do ecossistema) é composto por uma série de valores, os quais serão usados futuramente para avaliar as alternativas de ações de gerenciamento (ROGERS e BESTBIER, 1997). Obviamente, os objetivos determinados pelos gestores levarão sempre em conta o bem-estar humano. Pesquisas estão aprofundando cada vez mais o nível de conhecimento científico entre o equilíbrio ambiental e o bem-estar humano. Apesar do conceito de bem-estar humano estar associado a culturas, tradições, religiões e povos, determinadas características principais podem ser identificadas, pois estão ligadas à própria natureza humana (JACIMOVIC, 2008).

## 2.3 O REGIME DE VAZÕES ECOLÓGICAS

O conceito de vazão ecológica está associado à “vazão necessária a se manter em um corpo d’água de forma a assegurar a manutenção e a conservação dos ecossistemas aquáticos, dos aspectos da paisagem e outros, de interesse científico ou cultural” (ALVES, 1996 apud PELISSARI e SARMENTO, 2001). Cruz (2005) apresentou uma tese de doutorado sobre aspectos conceituais e técnicos da vazão ecológica onde são analisadas séries temporais de vazões diárias com base em séries sintéticas, pressupondo-se que os processos adaptativos de plantas dependem do grau de previsibilidade dos pulsos significativos.

Segundo Meijer (2007), os estudos sobre as vazões ecológicas, ou vazões ambientais, devem levar sempre em consideração, as populações locais afetadas pelo cenário de utilização do rio. Os interesses dos tomadores de decisão devem ser equilibrados para que o processo de identificação do regime mais adequado, do ponto de vista ambiental, tenha condições de obter sucesso. O aspecto social, com sua influência no meio ambiente e na legislação, torna o processo decisório para a escolha de um regime de vazões ecológicas, um processo mais político que científico.

Segundo a ANA (Agência Nacional de Águas), o Brasil ainda não utiliza uma metodologia científica para definir a vazão ecológica para os seus rios, utilizando-se de critérios de outorga, que por sua vez estão condicionados ao PNRH (Plano Nacional de Recursos Hídricos). Ressalta-se também que estes critérios de outorga, em sua maioria, não dispõem sobre a diluição de efluentes, que é um dos

pontos importantes para a avaliação ambiental das águas de um manancial e tem interferência considerável em seu equilíbrio ecológico (ANA, 2007).

Para O'Keefe (2008) o conceito de vazão ecológica está associado aos valores de quantidade, qualidade e distribuição de água que os ecossistemas aquáticos precisam para sobreviver, mas estes valores estão sujeitos ao julgamento da sociedade sobre qual o estado do ecossistema que ela quer manter. Então, na busca de um regime de vazões ecológicas, a sociedade tem que ter claro, primeiramente, qual o objetivo ambiental que ela estará buscando.

Para Collischonn e outros (2005), métodos ou metodologias para determinação da vazão ecológica não devem se focar no conceito de vazão mínima ou remanescente, pois existem muitos outros aspectos de um regime hidrológicos que são componentes ativos para a manutenção dos ecossistemas. Pequenas cheias e estiagens são desejadas e tem função ecológica muito clara, estando associadas à manutenção/controle de quase todas as espécies da biota que depende de um sistema fluvial.

Da mesma maneira, Schofield, Burt e Connell (2003) salientam que as perturbações naturais dos rios devem ser preservadas para a manutenção da biodiversidade, pois o equilíbrio das espécies, que tem seu ciclo de vida associado aos rios, está intimamente ligado às variações de intensidade e tempo das vazões e a alteração, ou regulação desta variação pode causar o aparecimento de espécies dominantes. Também devem ser considerados os aspectos geofísicos da região, como a composição química da água, sedimentos, temperatura.

Segundo Falcão (2006), os métodos para a determinação da vazão ecológica podem ser agrupados em quatro categorias: (1) métodos baseados em registros históricos de vazão (Q7,10, Montana, Aquatic Base Flow; curvas de permanência Q90 e Q95, Arkansas); (2) métodos baseados na relação entre parâmetros hidráulicos e vazão (Perímetro Molhado, Idaho, USFWF); (3) métodos baseados na relação entre o habitat e a vazão (WRRRI Cover, Oregon, IFIM); (4) métodos holísticos (BBM, ESWM, DRIFT).

O IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) é considerado o método mais usado e documentado, ele trabalha com a distribuição dos organismos (peixes), características estruturais e hidráulicas dos corpos d'água, adaptabilidade dos organismos para selecionar condições favoráveis (SARMENTO, 2007).

O método BBM (Building Block Method) foi desenvolvido na África do Sul por pesquisadores do Departamento de Águas e Florestas da África do Sul. Ele se baseia em três fases: (1) Preparação para as oficinas, com estudos e viagens a campo, análise geomorfológica para caracterização de trechos a serem escolhidos no rio, análises econômicas, hidrológicas e hidráulicas, buscando o estabelecimento de condições futuras desejáveis; (2) Oficinas multidisciplinares para investigação das características essenciais da vazão ecológica, propiciando a construção de um regime de vazões mensais adequado; (3) Ligação dos elementos da engenharia no desenvolvimento do recurso hídrico e da modelagem dos cenários hidrológicos com os valores de vazão ecológica obtidos nas oficinas (SARMENTO, 2007).



O método DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformations), também desenvolvido na África, inclui de forma incisiva o componente social na abordagem holística. DRIFT avalia as consequências sociais para cada cenário, gerando custos de mitigação e compensação. Ela se compõe de quatro módulos: (1) módulo biofísico, que descreve a situação atual do rio; (2) módulo sociológico, que identifica riscos à sobrevivência das populações associados às alterações da vazão; (3) módulo de desenvolvimento de cenários, que liga os módulos anteriores utilizando um banco de dados; (4) módulo econômico, que gera os custos de manutenção de cada cenário (SARMENTO, 2007).

Para O’Keeffe (2008) ainda são necessários muitos estudos para identificar metodologias mais adequadas ao contexto ambiental local, mas algumas lições já podem ser ensinadas, pois foram verificadas em várias aplicações de metodologias de avaliação de vazão ambiental, são elas: (1) procurar equilibrar as necessidades humanas com as necessidades dos ecossistemas; (2) identificar objetivos e limites ambientais a serem buscados e respeitados; (3) aprender a identificar os limites de utilização dos recursos hídricos antes da sua exaustão; (4) melhorar o abastecimento de água e os serviços sanitários e; (5) aprender a valorar economicamente as funções e componentes do ecossistema.

Para Medeiros e outros (2006a), o estabelecimento de um regime de vazões ecológicas está inserido dentro do processo de alocação ambiental, onde é necessária a definição de procedimentos e condições a serem alcançadas, com viabilidade e relevância para a manutenção das condições ambientais de toda a bacia hidrográfica.

## 2.4 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

Como a tomada de decisão envolve problemas específicos para cada situação, onde muitas vezes não existem informações suficientes para sua solução, tornando-os muito complexos, são utilizadas algumas técnicas computacionais de auxílio ao tomador de decisões, como por exemplo, os modelos matemáticos. Estes modelos são capazes de realizar simulação de processos e otimização da operação de sistemas reguladores. Também são utilizados métodos multicriteriais, que consistem em técnicas apropriadas para lidar com problemas de grande complexidade, além de mecanismos sofisticados de interação homem-máquina.

A este conjunto de procedimentos costuma-se chamar de Sistema de Apoio à Decisão (SAD) e estes se constituem de ambientes onde são gerados importantes conjuntos de informações com o objetivo de auxiliar na resolução de situações de conflitos. Aspectos dos SAD's incluem também: formalização do processo decisório; tratamento de problemas estruturados e não estruturados; abordagem sistêmica com modelagem matemática e mecanismos de apresentação de informações (PORTO e AZEVEDO, 1997).

Um sistema de apoio à decisão, de um ponto de vista mais amplo, engloba três aspectos que se interrelacionam, podendo ou não ser aplicados em conjunto, quer sejam: (1) ferramentas de decisão, são métodos e técnicas para reunião, organização, processamento e apresentação de informações, onde mecanismos computacionais são bastante utilizados; (2) modelos conceituais, são procedimentos e técnicas para representar a natureza, constituição, características e

contexto do problema, seus componentes e relacionamentos e; (3) uma estrutura de trabalho para a decisão, que está associada ao conjunto de instituições, planejamentos, metodologias, ferramentas e modelos utilizados para se propiciar aos tomadores de decisão (stakeholders) o ambiente adequado às suas tarefas (LOCKIE E ROCKLOFF, 2005).

Segundo Srdjevic (2004a), no desenvolvimento de SAD's verifica-se a definição de alguns termos comumente utilizados no tratamento computacional dos processos decisórios, são eles: *Análise Decisória (Decision Analysis)* que são teorias, processos e métodos analíticos para tratamento da incerteza, da variabilidade e dos aspectos multicriteriais das decisões, no âmbito dos procedimentos de *Tomada de Decisão (Decision Making)*. Os métodos de *Análise Decisória* mais conhecidos incluem árvores de decisão, diagramas de influência, modelos utilitários multiatributo e o Processo Analítico Hierárquico (AHP). *Sistemas de Suporte à Decisão (Decision Support Systems)*, que no contexto deste trabalho são referenciados como *Sistemas de Apoio à Decisão (SAD's)*, são produtos de *software* ajudam os usuários a aplicar métodos analíticos e científicos nas tomadas de decisão.

Segundo Faria, Medeiros e Srdjevic (2004), uma técnica muito utilizada dentro do universo dos SAD's é a simulação de cenários, neste caso, é possível a utilização de modelos matemáticos para representar o comportamento de algumas funções do ecossistema. O modelo de simulação do comportamento de redes hídricas MODSIM (LABADIE, 1998) foi usado, em conjunto com métodos multicriteriais, para avaliar alternativas para a alocação de águas no rio Paraguaçu,

na Bahia. Nesta pesquisa, o modelo simulou o comportamento do fluxo hídrico na bacia, em resposta a prioridades de atendimento de demandas constantes. Seus resultados foram utilizados para geração de indicadores de sustentabilidade do sistema. Os indicadores gerados foram: confiabilidade; elasticidade e vulnerabilidade. Os valores obtidos por estes indicadores foram então usados para compor uma matriz de decisão (FARIA, MEDEIROS E SRDJEVIC, 2004).

Processos de desenvolvimento e seus conseqüentes produtos tendem a apresentar um grande número de limitações em seus inter-relacionamentos, bem como em sua competitividade. Algumas limitações são claras e geralmente não tem grande importância, enquanto outras são notadamente vagas e bem pouco definidas. Neste caso, alterações efetuadas em um único parâmetro, geralmente podem ter um grande impacto em áreas correlatas, fazendo com que o equilíbrio dos interesses envolvidos se torne muito difícil. Desta forma, problemas ambientais, que na maior parte das vezes, estão associados a esta complexidade, têm sido resistentes às soluções analíticas convencionais (SRDJEVIC, 2003).

SAD's são ferramentas computacionais que concentram recursos para obtenção, tratamento, apresentação e disseminação de informações relativas a um campo de conhecimento, associando áreas, propiciando simulações de cenários e otimização de variantes com o objetivo de melhorar o entendimento e resolução de situações duvidosas ou conflitantes, GRH (2004).

Para Srdjevic (2003), quando a situação enfrentada é que se precisa uma solução comum para certo número de problemas, então qualquer procedimento

proposto para tal fim provavelmente não será chamado de "solução" por si só. O desafio geralmente não reside em se encontrar uma solução comum, mas em se construir uma solução aceitável ou, próxima da solução ideal, para um problema complexo, com um número relativamente alto de alternativas viáveis de solução. Esta é precisamente a situação na qual têm sido aplicadas várias técnicas de decisão, tais como: ferramentas de decisão (Decision Tools), como programação matemática, teoria da utilidade com técnicas de ponderação, análise custo-benefício e análise estatística; ferramentas de apoio à decisão (Decision Support Tools) e sistemas inteligentes integrados, como o processo analítico hierárquico (AHP), sistemas difusos (Fuzzy Systems) e sistemas especialistas (Expert Systems).

Em GRH (2001) tem-se o desenvolvimento de um SAD para auxílio ao pequeno agricultor que precisa obter outorga para um projeto de irrigação. Neste SAD estão envolvidas várias decisões tais como: o tipo da irrigação, o local de captação e a possível construção de um reservatório para regularização da vazão local. Sistemas deste tipo são utilizados preferencialmente como apoio aos processos básicos de alocação de água, isto é, minimizando os conflitos, antes da entrada nos processos de outorga, propriamente ditos.

## 2.5 A ANÁLISE MULTICRITERIAL

A análise multicriterial surgiu como resultado das pesquisas de Pareto (1896), onde este analisou o problema da composição de critérios ou a subdivisão de um único critério em vários, verificando também questões de eficiência na escolha entre duas alternativas. Estas pesquisas, que se situam dentro do âmbito da pesquisa operacional, tomaram relevância e geraram muitas aplicações militares durante a segunda guerra mundial, passando posteriormente a ser aplicadas na resolução de problemas em empresas privadas e na administração pública. Os métodos de análise multicriterial, também chamados de métodos de análise multiobjetivo são aplicados em situações onde há uma limitação de recursos a serem alocados a aplicações em diversas áreas de atuação, sujeitas à ponderação relativa entre seus objetivos (ZUFFO, 1998).

Tradicionalmente as decisões envolvem um ou dois e não levam em consideração fatores subjetivos, mas quando se trata de recursos naturais, os planejadores e especialistas têm que incluir fatores subjetivos e múltiplos critérios devido à gama de interesses e custos envolvidos. Os problemas, quando se trata de gerenciamento ambiental, se apresentam complexos e com pouca estruturação, demandando mecanismos de resolução que possam tornar o ambiente de decisão mais próximo possível da realidade (GRH, 2004).

O processo de análise multicriterial deve ter em seu corpo quatro elementos essenciais, quer sejam: objetivo, alternativas, critérios e indicadores. O objetivo representa a questão prioritária da decisão. As alternativas são as opções

de escolha do decisor e são geradas na busca de soluções possíveis para a questão prioritária do processo decisório. Os critérios são os elementos de ponderação, ou seja, os aspectos sob os quais se deseja avaliar as alternativas ou, os pontos de vista do decisor. Os indicadores são variáveis que medem um determinado aspecto das alternativas, eles servem como elementos de avaliação dos critérios em relação às alternativas. O termo “multicriterial” provém do fato destes métodos terem como base comum a ponderação das decisões, feita pelos diversos mecanismos de tratamento de seus critérios, que são vários, devendo ser estabelecidos e quantificados pelos decisores (DENG, 1999).

Segundo Medeiros e outros (2006b), Os métodos de análise multicriterial são ferramentas matemáticas utilizadas pelos tomadores de decisão em apoio ao processo de avaliação de alternativas. Esta avaliação tem por objetivo a escolha de soluções viáveis e eficientes para questões relevantes que envolvem raciocínio subjetivo sobre problemas não-estruturados, os quais representam a maior parte dos problemas ambientais. Nestes casos, a falta de informações em uma região específica compromete o conjunto dos dados de uma macro região, impedindo, por vezes, o encaminhamento de ações ou empreendimentos de interesse geral.

Um aspecto importante deste processo está na seleção dos critérios nos quais se baseará a decisão. Estes critérios, por seu turno, precisam ter indicadores que os possa mensurar. Os critérios escolhidos devem ser mensurados por algum indicador em todas as alternativas, para efeito de sua utilização no processo de análise e o objetivo da decisão é o critério de nível superior (SAATY, 1990). Outro aspecto importante é a ponderação relativa dos critérios, esta tarefa está

diretamente associada ao estabelecimento das preferências subjetivas do decisor em face dos pontos de vista da decisão, ou seja, é necessário que ele defina o que é mais e o que é menos importante ele na hora da decisão (SHIM e outros, 2002).

A análise multicriterial pode auxiliar na tomada de decisão para o processo de alocação ambiental visando o estabelecimento de um regime de vazões ecológicas na medida em que torna transparentes as posturas dos atores quanto aos critérios adotados. Racionalizando os esforços cognitivos necessários ao processo decisório, a análise multicriterial busca atender às demandas prioritárias do decisor, considerando integralmente a multidisciplinaridade envolvida em decisões de caráter ambiental (RAMANATHAN, 2001).

Segundo Srdjevic (2007), o método AHP (Analytic Hierarchy Process) é um método completo para análise de complexos problemas estruturados em hierarquia, ele auxilia os tomadores de decisão a explicitar suas preferências. Por isso, AHP é um dos métodos de análise multicriterial mais utilizados no tratamento das questões ambientais, as quais requerem muito esforço na estruturação das questões e na discussão das preferências dos tomadores de decisão. Apesar das vantagens do método AHP, nesta pesquisa este método não foi utilizado, dando-se preferência a métodos simples, pois a meta do trabalho é a análise da aplicabilidade de uma abordagem difusa à análise multicriterial e não os métodos em si.



### 2.5.1 A Matriz de Decisão

Segundo Srdjevic, Medeiros e Faria (2004b), para a definição dos procedimentos executados pelos métodos de tomada de decisão selecionados se faz necessária a especificação de seu elemento básico, que é a *Matriz de Decisão* ( $V$ ) (*Payoff*), apresentada na forma da Matriz 2.3. A matriz de decisão representa os valores  $v_{i,j}$  das avaliações de cada alternativa  $A_i$ , relativos aos critérios  $C_j$  da análise. Estes valores  $v_{i,j}$  serão então referenciados por *indicadores* da alternativa  $i$  para o critério  $j$ . Define-se  $M$  como o número de elementos do conjunto das alternativas  $A = [A_1, A_2, \dots, A_M]$  e  $N$  como o número de elementos do conjunto dos critérios  $C = [C_1, C_2, \dots, C_N]$ . Por fim, define-se o conjunto dos pesos referentes aos critérios  $W = [w_1, w_2, \dots, w_N]$ .

$$V = \begin{matrix} & \begin{matrix} (w_1 & w_2 & \cdot & \cdot & w_N) \\ C_1 & C_2 & \cdot & \cdot & C_N \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ A_M \end{matrix} & \begin{bmatrix} v_{1,1} & v_{1,2} & \cdot & \cdot & v_{1,N} \\ v_{2,1} & v_{2,2} & \cdot & \cdot & v_{2,N} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ v_{M,1} & v_{M,2} & \cdot & \cdot & v_{M,N} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2.3)$$

Segundo GRH (2004), um dos primeiros passos em um processo de análise multicriterial é a construção da *Matriz de Decisão* (*Payoff*). Ela é fundamental, pois esta serve como base para o funcionamento de muitos métodos multicriteriais.

## 2.5.2 SAW – Simple Additive Weighting

O método SAW (Simple Additive Weighting) ou *Ponderação Simples Aditiva* é caracterizado basicamente por sua simplicidade. Segundo Zanakis e outros (1998), a simplicidade do método SAW o torna muito popular entre os tomadores de decisão. Kabassi e Virvou (2004) o apontam como, provavelmente, o mais conhecido e mais usado, apresentando uma aplicação do método SAW na avaliação de um ambiente de aprendizagem inteligente. Cheng, Chan e Huang (2003) apontam o método SAW como sendo o mais simples dos métodos multicriteriais de apoio à decisão. O método SAW requer inicialmente a normalização da matriz de decisões inicial ( $V$ ), o que é feito pelas Equações 2.4 e 2.5:

$$r_{i,j} = \frac{v_{i,j} - v_j^*}{v_j^{**} - v_j^*} \quad (2.4)$$

ou

$$r_{i,j} = \frac{v_j^{**} - v_{i,j}}{v_j^{**} - v_j^*} \quad (2.5)$$

Para os critérios onde seja desejada a maximização, é usada a Equação 2.4 e, para os critérios em que se deseja a minimização, é usada a Equação 2.5, onde  $r_{i,j}$  é o elemento da linha  $i$ , coluna  $j$ , da matriz  $V$  normalizada. O elemento  $v_j^{**}$  é o maior indicador das alternativas, com relação ao critério  $j$  e  $v_j^*$  é o menor indicador das alternativas, com relação ao critério  $j$ . Esta operação, sobre todos os elementos de  $V$ , gera então a matriz de decisão normalizada  $R$ :

$$R = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdot & \cdot & r_{1,N} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdot & \cdot & r_{2,N} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ r_{M,1} & r_{M,2} & \cdot & \cdot & r_{M,N} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Por fim, a geração da pontuação (score) das alternativas, no método SAW, é dada pela expressão:

$$S_i = \sum_{j=1}^N w_j \cdot r_{i,j} \quad (2.7)$$

onde  $S_i$  é a pontuação da alternativa  $i$ ,  $w_j$  é o peso do critério  $j$ ,  $N$  é o número de critérios e  $r_{i,j}$  é o valor normalizado do indicador da alternativa  $i$  com relação ao critério  $j$ . As melhores alternativas serão as que obtiverem as maiores pontuações.

Segundo Hajkowicz e Higgins (2006), o método SAW tem muitas aplicações nas questões ambientais. Fleming (1999) e Hyde (2004) apud Hajkowicz e Higgins (2006) aplicaram SAW para avaliar as opções de extração de água subterrânea no nordeste da Austrália, obtendo ótimos resultados.

### **2.5.3 SPW – Simple Product Weighting**

O método SPW (Simple Product Weighting) ou Ponderação Simples de Produto, diferentemente do SAW, não requer que seja feita a normalização dos valores dos critérios (YOON, 1995 apud CHENG, CHAN e HUANG, 2003).

Segundo Chang e Yeh (2001), o processo de avaliação do método SPW efetua a multiplicação entre si, dos valores das avaliações para cada alternativa, elevados ao peso dos seus respectivos critérios. Isto acarreta o mesmo efeito, em termos de unificação da escala dos valores da avaliação das alternativas, que o processo de normalização do método SAW.

Este método apresenta-se simples como o SAW, mudando apenas a expressão de cálculo para a obtenção da pontuação das alternativas, que efetua o produto entre si, de todos os indicadores de cada alternativa, anteriormente elevados ao peso de seu respectivo critério. No método SPW, diferentemente do SAW, a normalização dos indicadores não é necessária, efetuando-se a multiplicação direta entre estes, anteriormente elevados ao seu respectivo peso. A expressão para pontuação (score) das alternativas, considerando-se a matriz de decisão  $V$ , é:

$$S_i = \prod_{j=1}^N (v_{i,j})^{w_j} \quad (2.8)$$

com

$$\sum_{j=1}^N w_j = 1 \quad (2.9)$$

onde  $S_i$  é a pontuação da alternativa  $i$ ,  $w_j$  é o peso do critério  $j$ ,  $N$  é o número de critérios e  $v_{i,j}$  o indicador da alternativa  $i$ , com relação ao critério  $j$ . As melhores alternativas, também no caso de SPW, serão as que obtiverem as maiores pontuações. Um caso especial do método SPW é que, quando algum dos indicadores ( $v_{i,j}$ ) das alternativas tem o valor 0 (zero), a pontuação da alternativa é zerada, independentemente dos valores dos outros indicadores. Para evitar este tipo de comportamento neste trabalho, principalmente quando se trata da lógica difusa, quando o indicador de uma alternativa é zero, este é mudado para o valor 0,0001.

Estudos teóricos e práticos na análise de sensibilidade dos pesos do método SPW, em comparação com SAW mostraram que o número de critérios e seus pesos absolutos influenciam mais no processo que o número de alternativas em questão (TRIANANTAPHYLLOU, 1997). O método SPW também aparece na

literatura de tomada de decisões como WP (Weighted Product) (CHENG, CHAN e HUANG, 2003), WPM (Weighted Product Model) (TRANTAPHYLLOU, 1997) e MEW (Multiplicative Exponential Weighting) (ZANAKIS e outros, 1998).

#### 2.5.4 CP – Compromise Programming

O método CP (Compromise Programming), ou Programação por Compromisso é um método de análise multicriterial que se baseia na identificação da alternativa que tem a menor distância em relação à solução ideal. CP foi proposto inicialmente por Zeleny (1973) e tem sido bastante utilizado para determinação de políticas de operação de reservatórios (SHIAU e WU, 2006). A busca da melhor solução pelo método CP oferece propriedades matemáticas e econômicas como: praticabilidade, otimização de Pareto e assimetralidade (ANDRÉ e ROMERO, 2007).

O procedimento do método CP pode ser definido da seguinte maneira:

Seja  $R$  (Equação 2.6) a matriz normalizada pelos critérios das Equações 2.4 e 2.5, a expressão para o cálculo das distâncias métricas das alternativas, em relação à alternativa ideal, para o método CP, com fator de preferência  $p$ , é então:

$$L_p(i) = \left[ \sum_{j=1}^N (w_j)^p \cdot (r_{i,j})^p \right]^{1/p} \quad (2.10)$$

onde  $L_p(i)$  é a distância métrica da alternativa  $i$  em relação à alternativa ideal,  $w_j$  é o peso do critério  $j$ ,  $r_{i,j}$  é o valor (normalizado) do indicador da alternativa  $i$  relativo ao

critério  $j$  e o valor de  $p$  representa a atitude do tomador de decisões. A melhor alternativa será a que tiver o menor valor de  $L_p$ , que corresponde à menor distância, com relação à *solução ideal*.

O método CP utiliza um parâmetro “ $p$ ”, que especifica a preferência do decisor na busca da solução. Com  $p=1$ , o método considera o equilíbrio entre os critérios e sua formulação se mostra idêntica à do método SAW. Com  $p>1$ , considera-se que o resultado tem uma solução dominante. Normalmente, é usado o valor  $p=2$  para este parâmetro, pois se verifica, por intermédio da análise sistemática de sensibilidade dos critérios, que a solução resultante tem a menor distância “Euclidiana” quando  $p=2$ , por conseguinte, tem a melhor solução de compromisso (SIMONOVIC, 2009).

Segundo Chen e Klein (1997), o método CP procura identificar a solução ideal pela otimização dos valores de seus atributos (critérios), efetuando então a busca da solução que mais se aproxime da *solução ideal* (axioma da escolha de Zeleny). Para Bella, Duckstein e Szidarovszky (1996) a solução procurada deve ser *não-dominada* pelas outras e será estabelecida pela medida de sua distância para com a *solução ideal*, que deverá ser a menor possível. Segundo Raju e Pillai (1999), a melhor alternativa é a que tiver o menor valor de  $L_p$  (distância métrica), que corresponde à menor distância, com relação à *solução ideal*.

Para Simonovic (2002), CP é uma poderosa ferramenta para uso no planejamento hídrico em geral, pois incorpora as preferências do decisor em sua análise, mas, como as técnicas de análise multicriterial convencionais, ela não

considera a variabilidade espacial nos valores dos critérios. Os valores usados para estes critérios representam as médias ou totais, ignorando as condições locais na implementação das alternativas.

### **2.5.5 TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution**

O método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), ou "Técnica para Ordenação de Preferência pela Semelhança com a Solução Ideal" é um método de análise multicriterial que se baseia na busca da aproximação de uma solução ideal. Desenvolvido por Hwang e Yoon (1981), apresenta simplicidade e facilidade de aplicação, abordando um problema pela comparação de duas situações hipotéticas: ideal e não desejada. TOPSIS baseia-se na busca de uma solução que mais se aproxime da ideal e, ao mesmo tempo, se afaste mais da solução não desejada (GRH, 2004).

O método TOPSIS classifica as alternativas utilizando um procedimento de seis passos, quer sejam: 1) Normalizar a matriz de decisão inicial, para que todos os valores para os critérios estejam no intervalo (0 ... 1); 2) Ponderar a matriz normalizada, aplicando os pesos dos critérios aos seus respectivos valores, para cada alternativa; 3) Determinar a solução ideal e a não-ideal, aplicando as regras das funções objetivo de cada critério, que são minimização ou maximização; 4) Calcular as medidas de separação, que é a distância euclidiana n-dimensional, para as alternativas; 5) Calcular proximidade relativa da solução ideal e; 6) Ordenar as alternativas (SRDJEVIC, 2004a). O detalhamento deste procedimento é o seguinte:

Seja  $V$  a matriz de decisão apresentada na Equação 2.1, o primeiro passo do método TOPSIS, que é a normalização dos indicadores das alternativas relativos aos critérios da matriz de decisão  $V$ , é feito pela seguinte expressão:

$$r_{i,j} = v_{i,j} / \sqrt{\sum_{j=1}^N (v_{i,j})^2} \quad (2.11)$$

gerando-se então a matriz  $R$ :

$$R = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdot & \cdot & r_{1,N} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdot & \cdot & r_{2,N} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ r_{M,1} & r_{M,2} & \cdot & \cdot & r_{M,N} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Seja  $W = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N]$  o vetor contendo os pesos referentes aos  $N$  critérios, então, no segundo passo, a matriz  $R$  será ponderada pela expressão:

$$P_{i,j} = r_{i,j} \times w_j \quad (2.13)$$

e a matriz resultante  $P$  será:

$$P = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \cdot & \cdot & P_{1,N} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \cdot & \cdot & P_{2,N} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ P_{M,1} & P_{M,2} & \cdot & \cdot & P_{M,N} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

No terceiro passo, o vetor solução ideal  $Z^+ = [z_1^+ \ z_2^+ \ \dots \ z_N^+]$  e o vetor solução não-ideal  $Z^- = [z_1^- \ z_2^- \ \dots \ z_N^-]$  serão criados, respectivamente pelas expressões:



$$z_j^+ = \{ \text{Max } p_{i,j} \Rightarrow \text{critério } j \text{ é Maximizado} \mid \text{Min } p_{i,j} \Rightarrow \text{critério } j \text{ é Minimizado} \} \quad (2.15)$$

$$z_j^- = \{ \text{Min } p_{i,j} \Rightarrow \text{critério } j \text{ é Maximizado} \mid \text{Max } p_{i,j} \Rightarrow \text{critério } j \text{ é Minimizado} \} \quad (2.16)$$

Calculam-se então, no quarto passo, as medidas de separação dos valores normalizados e ponderados das alternativas, com relação às soluções ideais e não-ideais, os quais constituem os vetores de separação da solução ideal ( $S^+$ ):

$$S^+ = \begin{bmatrix} s_1^+ \\ s_2^+ \\ \dots \\ s_M^+ \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

e da solução não-ideal ( $S^-$ ):

$$S^- = \begin{bmatrix} s_1^- \\ s_2^- \\ \dots \\ s_M^- \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Sendo estes gerados respectivamente pelas seguintes expressões:

$$s_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^N (p_{i,j} - z_j^+)^2} \quad (2.19)$$

$$s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^N (p_{i,j} - z_j^-)^2} \quad (2.20)$$

No quinto passo, calcula-se a proximidade das alternativas em relação à solução ideal, que é representada pelo vetor  $C$ :

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \dots \\ c_M \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

O vetor  $C$  é relativo aos valores finais obtidos pelas alternativas e é calculado pela seguinte expressão:

$$c_i = s_i^- / (s_i^+ + s_i^-) \quad (2.22)$$

Os valores do vetor  $C$  denotam então a melhor alternativa (maior valor) e as subseqüentes pelos valores decrescentes, efetuando-se a ordenação referente ao sexto e último passo do método TOPSIS.

### **2.5.6 Estudos Comparativos entre os Métodos Selecionados**

Estudo realizado por Zanakis e outros (1998), entre SPW e alguns dos métodos multicriteriais mais utilizados (SAW, AHP, ELECTRE e TOPSIS), mostrou pouca diferenciação em termos dos resultados de classificação final das alternativas quando são efetuadas análises com muitas alternativas. Sendo que, para análises com poucas alternativas, a variação de estrutura de ponderação de cada método começa a influenciar o resultado. Cheng, Chan e Huang (2003) realizaram um estudo comparativo entre cinco métodos de análise multicriterial, incluindo TOPSIS, SAW, SPW e ELECTRE, ao problema do gerenciamento de resíduos sólidos, considerando a escolha entre alternativas locais para aterros sanitários. Hajkowicz e Higgins (2006) efetuaram experimentos para comparação dos resultados de alguns métodos de análise multicriterial, entre eles, ponderação aditiva simples (SAW), programação por compromisso (CP) e PROMETHEE II, constatando que não é tão significativa para o resultado final, qual o método que se use, mas tem muita relevância o suporte à definição do problema e ao projeto de sua solução.

## 2.6 A LÓGICA DIFUSA (FUZZY LOGIC)

A capacidade humana de representação da realidade tangível tem evoluído muito em várias pesquisas em campos como: lingüística, epistemologia, cibernética, reconhecimento de padrões e controle de processos, fomentando o aparecimento de novas filosofias de trabalho menos restritas a uma visão puramente determinística, cartesiana e aristotélica. Isto acontece devido à necessidade óbvia de representação da realidade ambiental da situação que se está analisando, seguida da análise dos métodos de tratamento deste conhecimento ambiental de acordo aos objetivos de tomada de decisão desejados. Este processo todo deve ser facilitado por um elemento de intercomunicação que torne os processos internos acessíveis (interface) aos usuários do sistema.

A Lógica Difusa (Fuzzy Logic) está cada vez mais influenciando a concepção das teorias e aplicações da ciência, no sentido de considerar os aspectos incertos, imprecisos e não estruturados dos fenômenos naturais, antrópicos ou não, que co-existem no planeta terra. Esta abordagem, que ao primeiro momento pode parecer irreal, está sendo usado nos processos de controle de equipamentos pelo mundo afora e, aos poucos, começa a influenciar novos procedimentos de tomada de decisão.

A compreensão da Lógica Difusa requer a conceituação dos *Conjuntos Difusos*, ou *Fuzzy Sets*, estes foram originalmente propostos por Zadeh (1965), na Teoria dos Conjuntos Difusos. Na abordagem feita pela lógica difusa, operando sobre conjuntos difusos, cada variável pode ter vários graus de pertinência com

relação ao conjunto, dentro do intervalo “verdadeiro e falso”. Neste caso, para uma mesma situação, temos um grau de “verdade” e um grau de “falsidade”. Na abordagem clássica, proposta por Aristóteles (384 – 322 A.C.), cada elemento tem sua pertinência, em relação a um dado conjunto, associada aos conceitos de “verdadeiro *ou* falso”, sendo estas as únicas possíveis alternativas de conclusão. Neste caso, uma situação, ou é verdadeira ou falsa.

Graficamente, podem-se representar os graus de pertinência, de elementos do conjunto dos números inteiros (eixo “x” do gráfico), ao conjunto dos números maiores que (-1), pela lógica clássica (crisp) na Figura 8 (a), onde o grau de pertinência passa de falso a verdadeiro “instantaneamente” e, pela lógica difusa (fuzzy) na Figura 8 (b), onde o grau de pertinência passa de falso a verdadeiro “progressivamente”.

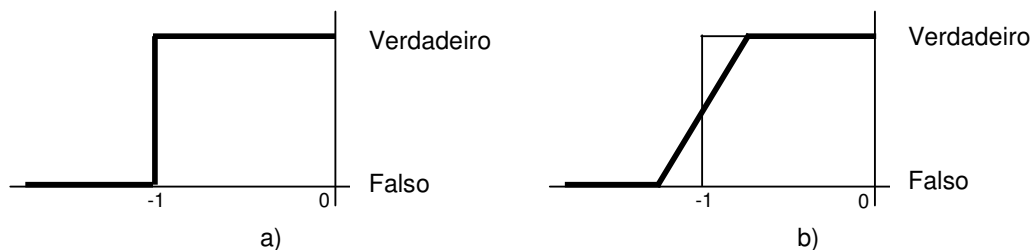


Figura 8: Representações gráficas da função de pertinência, Zadeh (1965).

A lógica dos conjuntos difusos proposta por Zadeh formalizou funções para conversão de um número, na lógica clássica, a um valor de pertinência em conjunto difuso. Os conjuntos difusos representam conceitos, como: *adequado*, *inadequado*, *alto*, *grande*, *velho*, *rápido*, *quente*, etc. A lógica difusa também formalizou operações para os conjuntos, elementos e as variáveis lingüísticas, que são os símbolos utilizados pela lógica e não estão associados a números, mas as

idéias e os conceitos, podendo estes representar vários outros conjuntos difusos. As funções de pertinência, mais comuns são mostradas nas Figuras 9 a 11.

### A. Triangular:

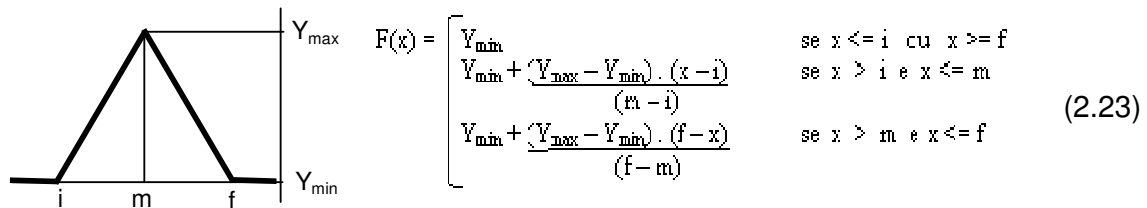


Figura 9: Representação gráfica e matemática da função de pertinência triangular, Zadeh (1965).

### B. Trapezoidal:

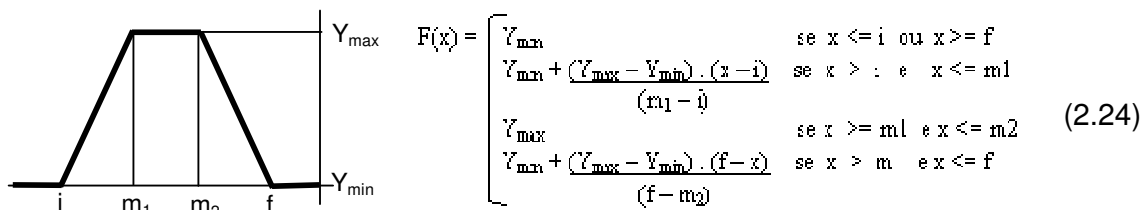


Figura 10: Representação gráfica e matemática da função de pertinência trapezoidal, Zadeh (1965).

### C. Função "S":

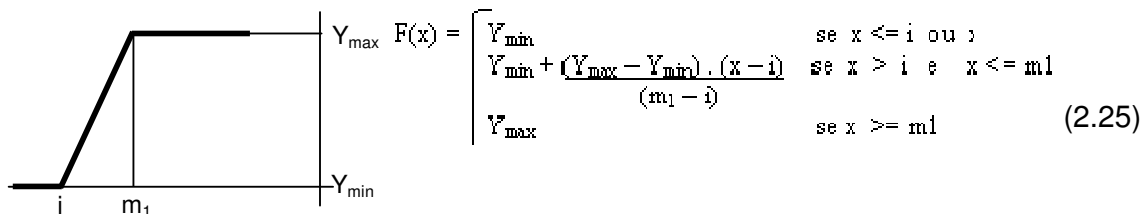


Figura 11: Representação gráfica e matemática da função de pertinência "S", Zadeh (1965).

Um exemplo de conversão de um valor "preciso" para um valor difuso é apresentado na Figura 12, onde o conjunto difuso "Temperatura do Forno" tem a variáveis difusa (termo lingüístico) "Normal" definida por seu formato gráfico (trapézio) e parâmetros (a,b,c,d). Então, um operador pode dizer que a temperatura de um forno (p. ex. 53°C) tem um grau de pertinência à variável "Normal" de 0,7.

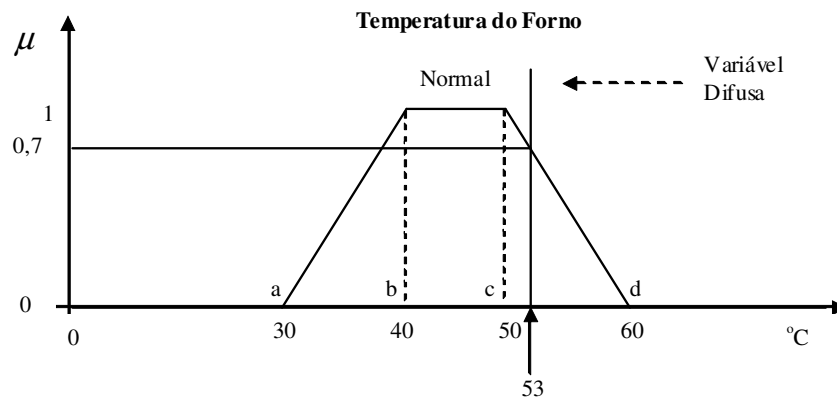


Figura 12: Aplicação da função de pertinência da normalidade de temperatura de um forno.

Segundo Dubois e Prade (1991), o ideal da teoria dos conjuntos difusos é a construção de uma estrutura formal que capture quantitativamente, a incerteza e a subjetividade do conhecimento humano relativo ao mundo físico, bem como sua interface, associada à linguagem natural. Realmente, a lógica desenvolvida por Zadeh se propõe a diminuir a distância entre a “determinística” modelagem matemática e a “imprecisa” representação abstrata das concepções mentais humanas. Este estudo teve um grande avanço a partir da década de 70, quando a lógica difusa foi aplicada a sistemas computacionais eletrônicos, criando maiores facilidades para a interação homem-máquina e estabelecendo novos procedimentos de associação entre símbolos e números. Isto fez com que a lógica difusa fosse reconhecida dentro do espectro de pesquisas da área da *Inteligência Artificial* (IA).

Simonovic (2002) adotou a teoria dos conjuntos difusos (fuzzy set theory) para lidar com a incerteza subjetiva associada aos processos ambientais gerenciados pelos seres humanos. Segundo Deng (1999), a lógica difusa é um método adequado para se tratar problemas decisórios multicriteriais envolvendo dados qualitativos e estes tipos de dados são utilizados freqüentemente por tomadores de decisão.

## 2.7 MÉTODOS MULTICRITERIAIS APLICADOS SOB LÓGICA DIFUSA

Park e Kim (1996) apresentaram um estudo sobre a fuzzificação dos pesos do método SAW, que ele chama de FWAR (Fuzzy Weighted Additive Rule), onde são usados conjuntos difusos (fuzzy sets) do tipo 1 e 2 com aplicação de programação quadrática. Chen e Klein (1997) utilizaram SAW associado à lógica difusa (fuzzy logic) para verificar métodos de fuzzificação e defuzzificação, apresentando uma estrutura conceitual (modelo) do procedimento usado e tabelas com resultados, contendo inclusive os tempos de computação das aplicações.

Li e Lai (2000) utilizaram CP com abordagem difusa (fuzzy) para resolução de problemas multiobjetivos na área de transportes, demonstrando a eficiência da abordagem CP-difusa através de exemplos numéricos.

Merino e outros (2003) também aplicaram o método CP, sob lógica difusa, desta vez em associação com um método multiatributo com dominância nos atributos, verificando a possibilidade do tomador de decisões em incorporar a ambigüidade e imprecisão no gerenciamento de um aquífero.

Wang e Elhag (2006) propuseram o método TOPSIS, sob lógica difusa (fuzzy logic), ou FTOPSIS, baseado em um procedimento de programação não-linear (nonlinear programming). Este método foi aplicado na avaliação de risco de pontes, comparando-se seu desempenho com outro método, o FWA (Fuzzy Weighted Average).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 CONTEXTO GERAL DE PROCEDIMENTOS**

Para alcançar os objetivos desta pesquisa é necessária, não só a pura e simples aplicação tradicional de métodos de análise multicriterial, mas também um exame do contexto da aplicação que envolve a questão a ser analisada. Sendo assim, torna-se necessário representar e manipular, da maneira mais eficiente possível, informações relevantes para a caracterização do problema e resolução da questão principal. Para isto, utilizam-se modelos de representação e simulação baseados em dados e resultados de pesquisas, que formam a fundamentação teórica da aplicação. Dados obtidos a partir destes modelos servem como entrada para a experimentação de métodos multicriteriais, trabalhando sob uma abordagem lingüística diferenciada, que permite ao especialista inserir seu conhecimento no sistema de análise, de uma forma que este possa se aproximar da realidade.

Existem dois contextos de trabalho inseridos dentro desta pesquisa, o primeiro é a busca científica investigativa sobre um tema onde o nosso conhecimento atual ainda é escasso. Esta busca procura entender os fenômenos envolvidos na problemática do estabelecimento de um regime de vazões, que seja



ao menos, adaptado a um cenário de menos impactos do que o que temos hoje em dia. Os processos decisórios que levam ao estabelecimento de um regime de vazões ecológicas são então examinados objetivando a sua otimização. Nesta parte é identificada a estrutura básica dos processos e como eles podem ser melhorados com a utilização de um sistema de apoio à decisão. Limitações de escala de informações relativas à área do estudo de caso, o baixo curso do rio São Francisco, foram tratadas com uma visão ecossistêmica e modelar dos componentes envolvidos (hidrologia, biologia, sociologia, sedimentologia, etc.).

Em um segundo momento, métodos multicriteriais são examinados e estruturados de forma a propiciar a construção de algoritmos para sua experimentação. Estruturas de dados são desenvolvidas para representar fluxos e manipulações de informações de forma acessível e interpretável por usuários não técnicos. A abordagem difusa é introduzida nos métodos multicriteriais visando diminuir a distância entre os procedimentos matemáticos exatos e a realidade ambiental da definição de um regime de vazões ecológicas, que é imprecisa e subjetiva. Foram construídos dois sistemas de informações para experimentação e comparação das teorias estudadas. Um sistema possibilita experimentar quatro métodos de análise multicriterial e o outro permite a análise dos mesmos métodos, mas em uma abordagem difusa.

Todo o conjunto de procedimentos que compõe a metodologia desta pesquisa pode ser dividido em três módulos interligados, quer sejam: módulo de caracterização ambiental do problema; módulo gerencial de processos e; módulo de interpretação de preferências. Estes módulos são esquematizados a seguir.

A Figura 13 mostra a estrutura da pesquisa, na forma de blocos de informações e ligações. Esta estrutura representa a base da metodologia e tem uma configuração de procedimentos que parte da coleta do conhecimento e chega a soluções por compromisso, utilizando a lógica difusa. O detalhamento dos elementos e procedimentos é feito nos tópicos a seguir.

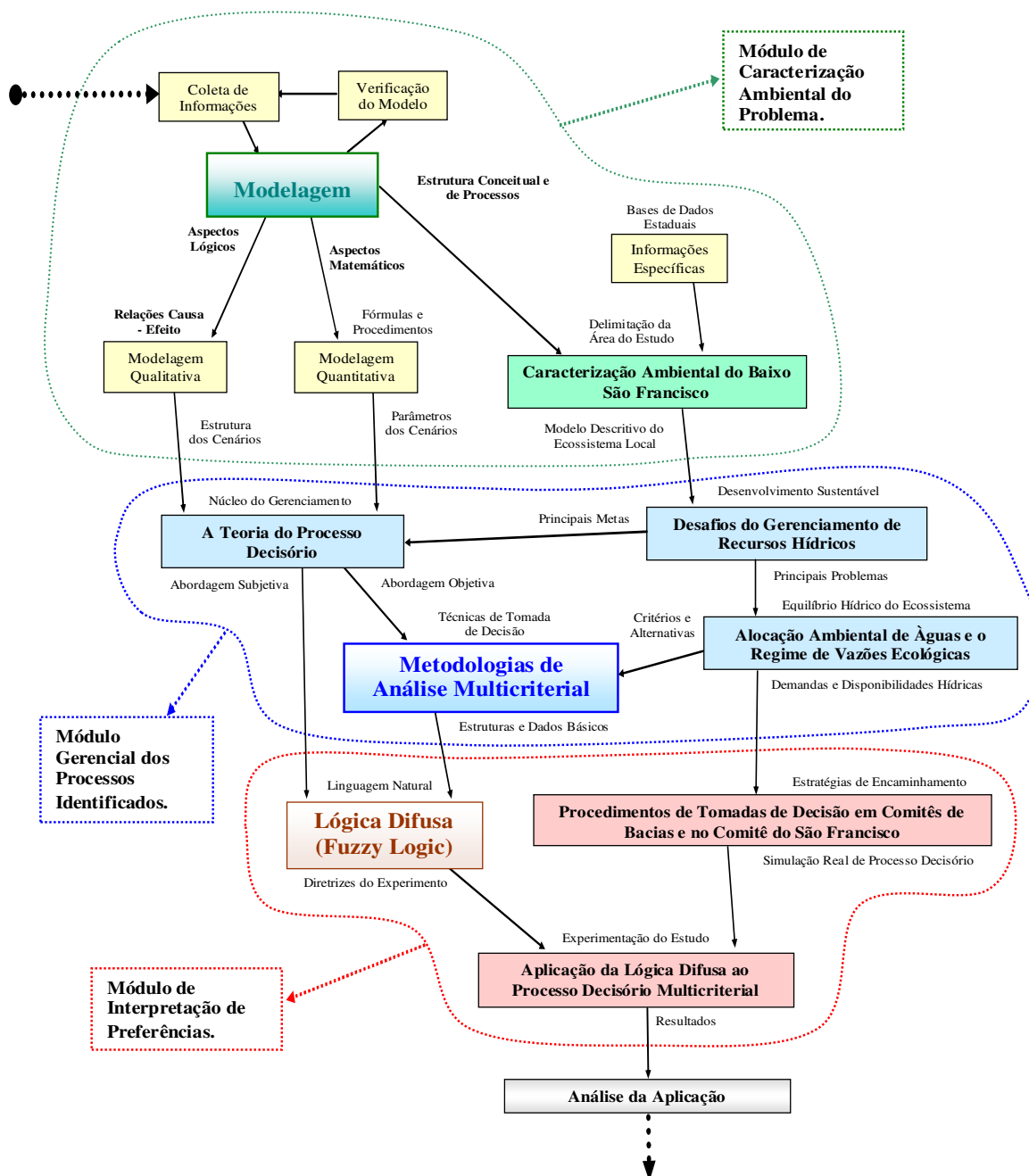


Figura 13: A estrutura deste trabalho de pesquisa, dividida em tópicos de estudo.

### 3.2 SEGMENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

Do ponto de vista sistêmico, os procedimentos para a determinação de um regime de vazões ecológicas em um curso de água devem considerar a totalidade da bacia como pré-requisito. Considerando as dimensões da bacia do rio São Francisco, é necessária, para enquadramento nos objetivos desta pesquisa, a segmentação do sistema hídrico e a focalização em uma região: o baixo curso do São Francisco.

Abstrai-se então, a influência exercida por outras regiões à montante da região estudada, considerando-se, no entanto relevante, a influência da barragem de Sobradinho. Este barramento é responsável pela regulação das vazões e conseqüente disponibilidade de águas, nas regiões do sub-médio e baixo São Francisco. Na busca dos elementos relevantes do ecossistema, um barramento de grandes dimensões é o elemento central da estrutura de relações de impactos ambientais que afetam diretamente a variação das vazões em um curso de rio. Isto significa que a caracterização do ecossistema local, para esta pesquisa, é feita em torno dos aspectos, que de alguma maneira, tem ligação com a barragem de Sobradinho.

Após a definição do enfoque da pesquisa, efetua-se a caracterização ambiental (física, social, econômica e ecológica) da área de estudo com o objetivo de identificar, e principalmente modelar, situações de interesse que tenham relação ao tema em estudo: a identificação de um regime de vazões ecológicas. A caracterização ambiental é essencialmente holística, sendo feita em termos da

identificação de aspectos sociais, geomorfológicos, biológicos, climatológicos e hidrológicos, principalmente em trabalhos realizados por pesquisadores de universidades localizadas na região de estudo. Esta caracterização é colocada no *Módulo de Caracterização do Ambiental do Problema* (Figura 2), juntamente com a modelagem do processo decisório e do ecossistema.

### 3.3 MODELAGEM DO PROCESSO DECISÓRIO E DO ECOSSISTEMA

Com base nos resultados levantados pela caracterização da região em estudo, são criados três tipos de modelos: (1) conceitual, para esquematizar o contexto decisório; (2) qualitativo, para descrever os fenômenos e processos do ecossistema e; (3) quantitativo, para simular o comportamento de mecanismos do ecossistema, gerando valores de vazão para possíveis cenários. Estes modelos representam estruturas cognitivas, relações causa-efeito e relações físicas dinâmicas, envolvendo aspectos ecológicos da região em estudo. Eles referenciam principalmente os elementos identificados como tendo grande influência, tais como: tomadores de decisão; comunidades ribeirinhas; barragens; demandas; processos degradatórios; pólos de irrigação; etc.

Na construção dos modelos conceituais, procura-se identificar e classificar os procedimentos que estabelecem atribuições dos atores envolvidos na tomada de decisão, níveis de decisão, características de cada nível, elementos e informações usadas nos processos. São estabelecidas relações entre os fatores humanos (artificiais) e o conhecimento gerencial dos recursos hídricos, com a utilização de elementos gráficos simples. Os modelos conceituais, aqui considerados, são

ferramentas de abstração da realidade, onde o nível da visão se dá em termos de processos antrópicos, isto é, mecanismos que consideram as necessidades e formas de agir *humanas*.

Paralelamente à elaboração dos modelos conceituais, é construído um modelo qualitativo (baseado na TQP), para representar as relações "causa-efeito" entre os principais elementos do ecossistema. Os elementos principais são os eco-subsistemas: geológico; geofísico; biológico; hidrológico; climatológico e social, constituindo estes, fragmentos do modelo completo. Este modelo representa elementos e processos naturais, identificados pelo conhecimento científico obtido na caracterização do contexto do problema. O modelo qualitativo mostra a estrutura de *influências* entre os processos e as variáveis relevantes para o entendimento da dinâmica ecológica da região.

Para a construção do modelo qualitativo, os eco-subsistemas são modelados individualmente em fragmentos de modelo, procurando-se identificar e modelar elementos relevantes de um subsistema, que possam estabelecer relações de um fragmento com outro. Sendo assim, como foi definido que a barragem de Sobradinho é o elemento central da modelagem, por conseguinte, ela tem a função de ligação entre todos os fragmentos do modelo. Este modelo serve com base para a identificação de variantes e processos que possam ser levados em conta, quando a estrutura da decisão estiver sendo montada, na escolha dos critérios e definição dos indicadores a usar para avaliar as alternativas. Na estruturação do modelo, procura-se dispor os fragmentos de acordo com a Figura 14. Esta disposição está associada à posição real em que os elementos são encontrados na natureza.

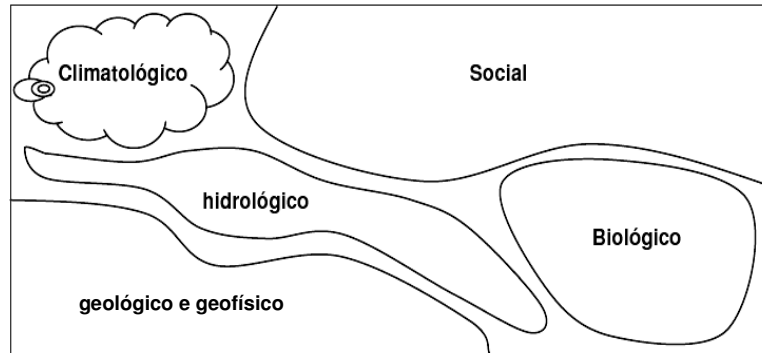


Figura 14: Abstração da disposição dos eco-subsistemas do modelo qualitativo.

Para se estudar, mais especificadamente o comportamento (dinâmica) do ecossistema, que é fortemente influenciado pelos reservatórios de água dos grandes barramentos, é importante verificar a viabilidade técnica do estabelecimento de determinados valores de vazão durante alguns períodos do ano, como épocas de estiagem ou de grandes chuvas. Neste caso, utiliza-se pelo menos um modelo de simulação (quantitativo) da rede hídrica.

O modelo de simulação deve trabalhar com aspectos de relevante participação ecológica dentro da região em estudo, como reservatórios e demandas (industrial, irrigação, animal, de abastecimento humano, além da demanda chamada de “ecológica”). Um modelo de simulação do comportamento da rede hídrica, como o MODSIM, gera séries de vazões disponíveis para cada demanda configurada, de acordo com valores de vazão natural afluente, prioridades de atendimento estabelecidas e estruturas dinâmicas de distribuição de fluxo, determinadas pelo balanço hídrico da rede. Séries de vazões para a demanda “ecológica”, resultantes de algumas experimentações do modelo de simulação, constituem conjuntos anuais de vazões mensais afluentes passíveis de análise. Estes conjuntos de vazões são então sintetizados (média mensal) em séries mensais de um ano, sendo estas

utilizadas como cenários, ou alternativas de regimes, para submissão a procedimentos de análise, onde é então feita a identificação da série de vazões mais "ecológica", segundo o ponto de vista dos decisores.

### 3.4 ESTUDO DOS MÉTODOS MULTICRITERIAIS

Na investigação teórica acerca do processo decisório são observadas questões que envolvem aspectos objetivos e subjetivos, então a metodologia deve se utilizar de mecanismos matemáticos objetivos que possam lidar com a subjetividade, considerada na forma da preferência dos decisores. Como ferramentas no auxílio do cumprimento desta função são empregados métodos de análise multicriterial, tendo hidrogramas simulados e reais como alternativas para cenários, resultados de pesquisas científicas como indicadores e preferências dos decisores como ponderação dos critérios.

Através de análise da literatura disponível e adequação aos objetivos da pesquisa são feitos estudos de métodos de análise multicriterial, dentre os mais utilizados para a avaliação de questões ambientais ligadas ao gerenciamento de recursos hídricos. A literatura estudada fornece subsídios para escolha de alguns métodos multicriteriais cuja aplicação possa ser avaliada, dentro da abordagem escolhida. Utilizando a própria análise multicriterial de forma simples, elege-se um critério de maior importância para a escolha dos métodos. Nesta pesquisa, um critério de grande importância nesta escolha é a simplicidade, pois o objetivo deste trabalho é estudar utilização da lógica difusa como uma abordagem para os métodos e não os métodos em si mesmos. Por conta desse critério, neste trabalho foram

escolhidos os métodos: SAW (Simple Addictive Weighting); SPW (Simple Product Weighting); CP (Compromisse Programming) e; TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).

Os mecanismos de funcionamento dos métodos escolhidos são estudados com o objetivo da construção de algoritmos que trabalhem sobre uma base de dados contendo informações das alternativas (hidrogramas sob análise), procedimentos par geração de valores dos indicadores (passíveis de serem utilizados para avaliação das alternativas) e critérios, com suas ponderações atribuídas a cada instância da experimentação. A estrutura de decisão montada com o uso dos métodos de análise multicriterial deve levar em consideração questões e desafios do gerenciamento de recursos hídricos como o desenvolvimento sustentável e equilíbrio hídrico do ecossistema. Este esquema organizacional é apresentado no *Módulo Gerencial de Processos Identificados*, da Figura 2.

### 3.5 ESTUDOS DA LÓGICA DIFUSA

São feitos então, estudos dos conceitos e especificações estruturais da *Lógica Difusa*, suas formas de aplicação, resultados práticos e mecanismos, que sejam relevantes para sua utilização na adaptação dos métodos de análise multicriterial em estudo. Os estudos efetuados sobre a lógica difusa são dirigidos à especificação de propriedades filosóficas e possibilidades de sua aplicação a um processo de análise multicriterial, especificadamente para construção de uma ferramenta computacional de suporte à decisão.



Com base nestes estudos, identifica-se uma forma de aplicação que seja mais adequada ao nível de profundidade da pesquisa, considerando o volume de trabalho no desenvolvimento dos outros dois objetivos específicos deste trabalho. A forma de aplicação, identificada como sendo a mais adequada a esta pesquisa, é a *fuzzificação* dos valores dos indicadores (quantitativos ou qualitativos), sendo todos os valores dos indicadores possíveis para análise, convertidos por funções de pertinência, em valores que denotam o grau de satisfação dos indicadores a determinadas condicionantes ambientais, como mostrado na Figura 15.

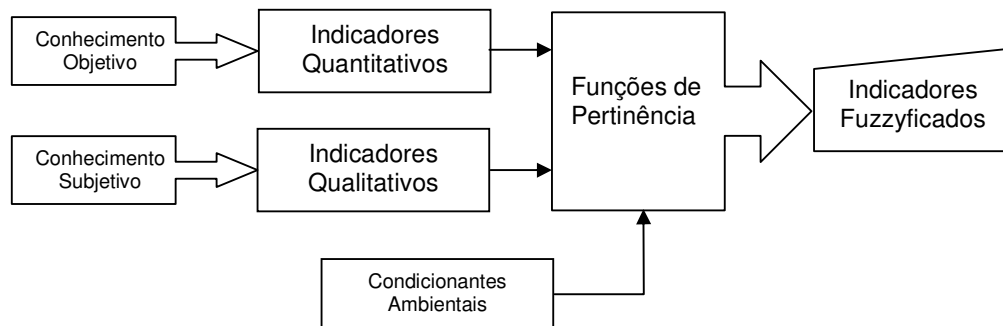


Figura 15: Fuzzificação dos indicadores, forma aplicada a esta pesquisa.

A abordagem difusa, feita sobre o processo de análise multicriterial, deve contribuir de forma clara para a otimização do processo decisório, explicitando a correlação entre as variações nos valores de entrada e as diferenças nos resultados obtidos. Como os resultados da aplicação dos métodos multicriteriais são considerados “*soluções de compromisso*” e não simplesmente “*conseqüências combinacionais da entrada*”, apenas o procedimento de fuzzificação é usado nesta pesquisa. A defuzzificação não foi adotada aqui, porque o objetivo não é construir um sistema fuzzy completo, com fuzzificação, inferência difusa e defuzzificação, mas investigar os efeitos da introdução de um procedimento de lógica difusa a um processo de análise multicriterial.

Os estudos sobre a lógica difusa e o desenvolvimento de uma aplicação, que utiliza a abordagem investigada por esta pesquisa, levam em conta os procedimentos de tomada de decisão em um comitê de bacia, mas sua experimentação pode ser feita como uma simulação dos procedimentos verificados no âmbito de um comitê de bacia. Esta parte do trabalho, juntamente com a experimentação feita com o aplicativo, é referenciada no *Módulo de Interpretação das Preferências*, na Figura 2.

### 3.6 CONSTRUÇÃO DE UM APLICATIVO MULTICRITERIAL

Para experimentar a abordagem adotada pela pesquisa, é construído um aplicativo de software. Com ele são efetuados os testes e avaliações entre os métodos de análise multicriterial estudados, em abordagem clássica e difusa. Este aplicativo utiliza dados associados a critérios, alternativas e indicadores, provenientes de funções de representação da modelagem quantitativa e qualitativa, construída no início deste estudo e dos estudos sobre métodos de análise multicriterial e lógica difusa, efetuados depois da modelagem.

Primeiramente, é feita a estruturação da base de dados do aplicativo, ela deve conter tabelas com os seguintes conjuntos de dados: (1) regimes de vazão passíveis de análise; (2) regimes de vazão escolhidos para serem analisados; (3) outras séries temporais de dados que sejam interessantes para composição dos indicadores; (4) conjunto de indicadores disponíveis para a análise; (5) estruturação e ponderação da árvore de decisão; (6) resultados das análises efetuadas.

A seguir, os algoritmos (estudados anteriormente) dos métodos multicriteriais e funções de pertinência da lógica difusa são estruturados em códigos de programação, no caso desta pesquisa, em VBA (Visual Basic for Applications), dentro de um banco de dados Access (Microsoft). Estes códigos manipulam consultas feitas à base de dados, gerando os resultados da aplicação dos métodos, com os dados e parâmetros definidos, sob lógica clássica e difusa

O aplicativo deve disponibilizar a capacidade de experimentar o processo decisório, escolhendo entre as possibilidades de cenários para a vazão do curso do rio, de acordo a resultados de pesquisas que apresentam o conhecimento atual da ciência, e às preferências políticas, que exprimem os pontos de vista dos decisores. A estrutura da interface do aplicativo deve mostrar os resultados da experimentação de forma comparativa, onde os resultados dos métodos multicriteriais, em lógica clássica, sejam vistos lado a lado com seus correspondentes, em lógica difusa.

### 3.7 REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS

São então realizados alguns experimentos com o aplicativo construído. Nestes experimentos são utilizados, como referência, dados pesquisados em trabalhos científicos sobre a região em estudo, além de cenários gerados pelo modelo de simulação da rede hídrica ou cenários que sejam resultados de pesquisas. Também como cenário referencial, usa-se o hidrograma anual das vazões médias naturais, observadas em alguma estação dentro da área de estudo. Os hidrogramas naturais, elaborados com as vazões máximas e mínimas podem ser usados como balizadores para cenários de vazão possíveis.

Como simulação do comportamento do organismo gestor, deve-se montar uma árvore (matriz) de decisão, escolhendo critérios que tenham significância para os decisores. Como elemento facilitado da identificação dos critérios, pode-se utilizar a ferramenta dos mapas cognitivos, ou, identificar critérios com base na modelagem qualitativa realizada. A escolha dos critérios da análise é de responsabilidade dos decisores, mas os especialistas devem indicar grupos de indicadores que podem ser utilizados para mensurar um determinado critério. Critérios mais “gerais” podem ser escolhidos inicialmente e depois subdivididos em outros critérios (subcritérios) que especifiquem um ou outro elemento importante, dentro dos objetivos da decisão.

Indicadores devem ser escolhidos com base na análise da aplicabilidade e representatividade de um indicador, com relação a seu critério, além disso, deve-se informar se o indicador deve ser maximizado ou minimizado, para maior valorar o critério. A tarefa de escolher os indicadores é de responsabilidade conjunta entre os decisores e os especialistas, sendo que os especialistas têm a função de orientar os decisores sobre a viabilidade da utilização de cada indicador, com relação ao significado de cada critério escolhido para avaliar as alternativas.

Os valores dos indicadores quantitativos são gerados por funções e consultas à base de dados, enquanto os qualitativos devem ser escolhidos, por um processo participativo de escolha social (social choice) entre os decisores, técnicos e a população impactada pelo estabelecimento de um regime de vazões ecológicas. Na parte do aplicativo que a lógica difusa, uma rotina especial fuzzifica os indicadores, convertendo-os em valores dentro do intervalo [0, 1], de acordo a sua participação entre os valores “ótimos”, para uma determinada função ambiental.

### 3.8 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Os resultados obtidos nos experimentos com o aplicativo são, por fim, analisados com o objetivo de se verificar a existência de elementos relevantes, que tenham sido mostrados pela aplicação da lógica difusa a procedimentos de análise multicriterial. Estes elementos devem representar um esquema de influências entre as escolhas das alternativas a analisar e a ponderação dos critérios de análise, verificando-se a participação que tenham os valores dos indicadores (em lógica clássica e em lógica difusa) na classificação final das alternativas.

Os resultados são comparados de maneira a se observar que influência a utilização da lógica difusa teve, principalmente no que se refere à participação dos indicadores na classificação final das alternativas. A abordagem utilizada preconiza a maior sensibilidade da lógica difusa à variação dos indicadores, portanto, na comparação dos resultados, esta característica deve ser buscada, na correlação entre os valores dos indicadores (na forma clássica e difusa) e os resultados obtidos pelos experimentos.

O objetivo, na fase de comparação dos resultados, é verificar o comportamento do processo de análise multicriterial utilizando uma abordagem que emprega a lógica difusa no tratamento dos indicadores, conferindo significação maior aos valores destes. Os resultados são então analisados sob esta ótica, procurando indícios de que a capacidade do indicador fuzzificado representar a realidade é maior do que o indicador usado em sua forma clássica.

Apesar de que, alguns parâmetros da experimentação foram escolhidos de forma arbitrária, seu emprego é válido, pois são utilizados para testar o funcionamento da metodologia. Isto significa que a atenção deve ser dada à coerência do procedimento como um todo. Não deve se conferir demasiado valor aos resultados por si só, pois valores mais “realistas” para os parâmetros e dados empregados, gerarão resultados mais concretos.

Na busca de identificar relações relevantes para o estudo do emprego da lógica difusa a um processo de análise multicriterial, deve-se buscar as características dos métodos multicriteriais, que possam ser melhoradas pela abordagem investigada. Uma destas características é a sensibilidade à variação de sua ponderação. Neste sentido, os resultados da aplicação da abordagem difusa devem prover maior especificação, para a pontuação das alternativas, do que a abordagem que usa a lógica clássica. Isto pode ser testado observando-se a possível repetição de resultados, para valores de entrada distintos, em alguma das metodologias usadas pela lógica clássica. A mesma verificação deve ser feita na abordagem difusa para ver qual das abordagens gera maior sensibilidade, principalmente no que diz respeito ao tratamento dos indicadores.

#### **4 CASO DE ESTUDO: O BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO**

A tarefa de gerenciar o uso da água, sendo esta um recurso indispensável a quase todas as tarefas humanas, é, por assim dizer, um grande desafio. Por estar constantemente poluindo e degradando seus mananciais, a civilização moderna criou situações em que a água de uma região existe em quantidade suficiente, mas de baixa qualidade; muitas vezes sucedendo-se também o contrário, pois rios que conseguem manter a qualidade de suas águas são diminuídos e assoreados pelo descaso com suas matas ciliares, transformadas muitas vezes, em pastos ou imensas plantações.

Na região nordestina do Brasil, o gerenciamento das águas apresenta-se de forma bastante complexa, pois a pobreza econômica, o desconhecimento da população quanto às boas práticas de conservação do solo, a falta de dados ambientais atualizados e a limitação da pluviosidade, associada à sua má distribuição espacial e temporal, geram um alto grau de incerteza nas tomadas de decisão. A região da bacia do rio São Francisco, por sua importância nos ecossistemas da região nordestina, requer uma atenção especial de todas as entidades ocupadas com a questão ambiental. No caso do baixo curso da bacia, este fato é mais desafiante ainda, pois a região interage com o ambiente marítimo.

#### 4.1 CONTEXTO AMBIENTAL: A BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

A bacia do rio São Francisco, doravante citada como BSF, é um elemento de incontestável importância para os ecossistemas do Brasil e particularmente do nordeste. Ela se situa entre as latitudes 7° 00' e 22° 00' S e as longitudes 35° 00' e 45° 40' W, com distância da nascente à foz de aproximadamente 2700 km e área de



Figura 16: Bacia do rio São Francisco, sua posição geográfica relativa ao continente.  
Fonte: (CBHSF, 2004).

drenagem de 640.000 km<sup>2</sup>. A vazão média é de 2800 m<sup>3</sup>/s, a disponibilidade hídrica corresponde a 69% do total do nordeste. A BSF dispõe de 40% de terras com boa possibilidade para agricultura (PEREIRA e outros, 2003).

A Figura 16 mostra a situação geográfica da bacia. Parte da região da BSF se encontra no polígono das secas, que é o termo usado pelo Ministério da Integração Nacional para a área onde ocorrem 80% das secas do Brasil (LERNER, 2006).

A BSF, da sua nascente até a foz, apresenta um desnível de aproximadamente 1000 metros, tendo como pontos de maiores quedas de altitude suas cabeceiras e a foz, principalmente entre Paulo Afonso e Pão de Açúcar. A BSF dispõe de 36 grandes afluentes, sendo que, apenas 19 destes são perenes, entre



eles os rios Paraopeba, Velhas e Verde Grande, Paracatu, Carinhanha, Corrente e Grande. Dois problemas com grande grau de relevância em termos de gerenciamento de recursos hídricos na BSF são: as inconsistências nas séries de vazões calculadas a partir de vazões observadas e; as perdas de água por evaporação nos reservatórios responsáveis pela regularização das vazões do rio (PEREIRA, 2004).

A Figura 17 apresenta um mapa da hidrografia da BSF, com as divisões entre suas sub-bacias. De uma maneira geral o clima na BSF apresenta-se entre o úmido e o árido, com temperaturas médias anuais entre 18º e 27º, baixo índice de nebulosidade, conseqüentemente com grande incidência de radiação solar e precipitação média anual histórica de 1000 mm, oscilando entre 350 mm e 1500 mm.

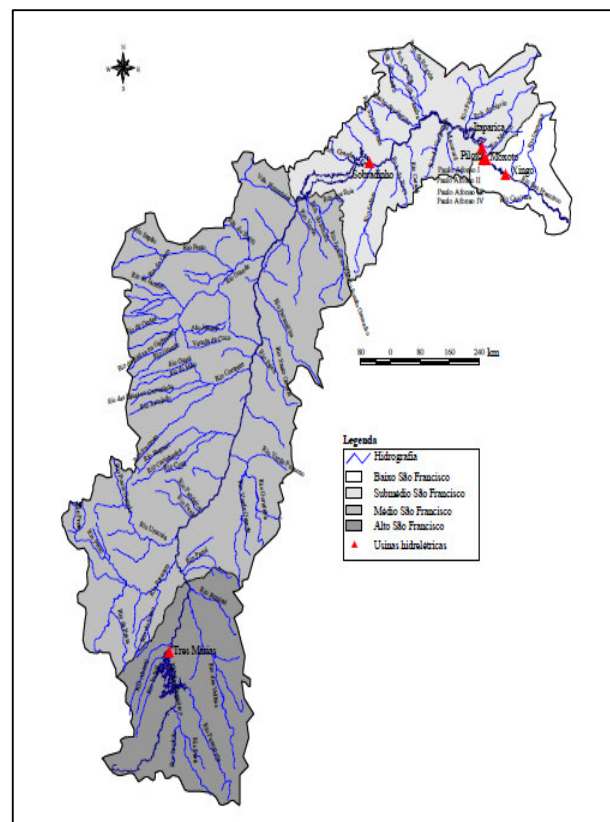


Figura 17: Bacia do rio São Francisco, mostrando sua divisão em sub-bacias. Fonte: (Pereira, 2004).

Sua evapotranspiração está associada à variação de temperatura, ficando perto dos 2140 mm, na região do sub-médio e 1300 mm nas extremidades da bacia. Estas condições climáticas são fortemente influenciadas pelos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, como também pelo comportamento do oceano atlântico tropical (MARENGO e outros, 2005).



sedimentos, formando grandes bancos de areia no leito do baixo São Francisco. Isto pode ser visto na Figura 19, que mostra a planície denominada na literatura como *Delta Dominado por Ondas* (Wave-Dominated Delta)

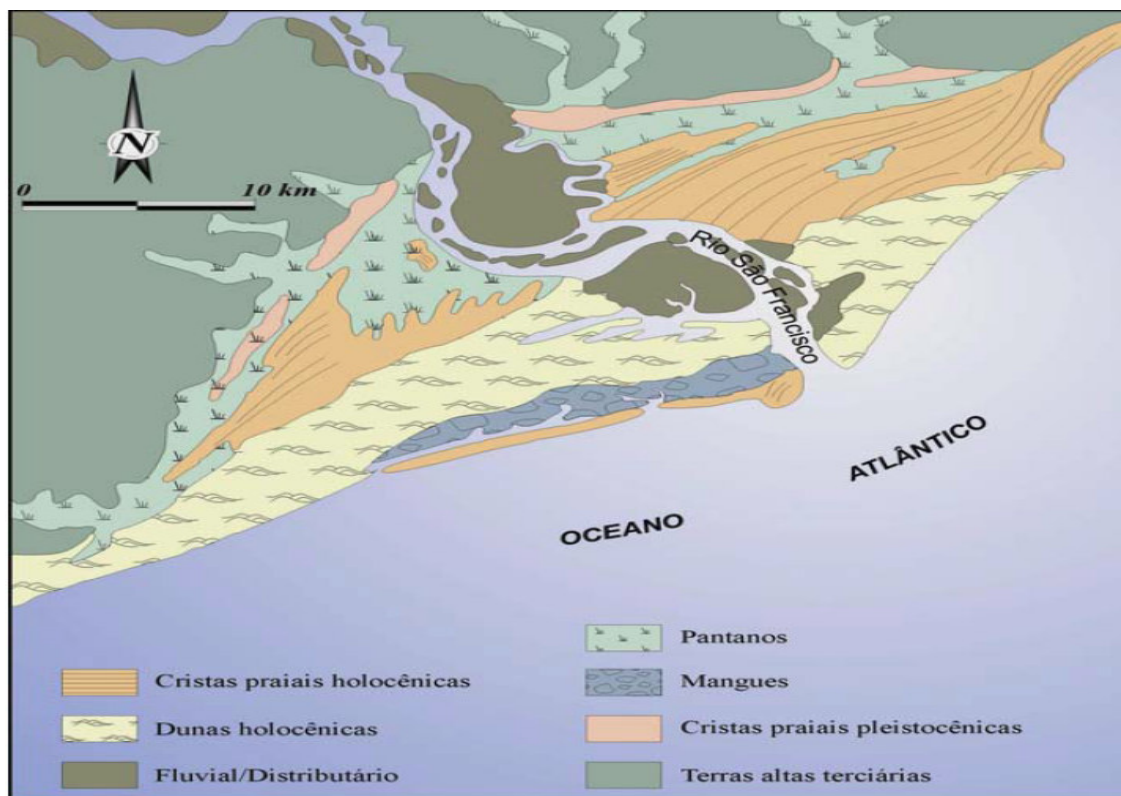


Figura 19: Foz do rio São Francisco, formado por um delta dominado por ondas.  
Fonte: Oliveira (2003).

O baixo São Francisco vem sofrendo, ao longo dos últimos anos, um grande processo erosivo, tendo este processo já sendo alvo de vários estudos, com as conclusões apontando para a influência das grandes barragens, nos regimes hídricos do rio. Deve-se usar tecnologias que possam mensurar os impactos ambientais causados por grandes empreendimentos governamentais, principalmente na margem direita do baixo curso do rio São Francisco, exigindo também medidas de contenção e prevenção de atividades predatórias, com vista à proteção dos ecossistemas da região (OLIVEIRA, 2006).

#### 4.3 CONTEXTO POLÍTICO: O COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – CBHSF

Numa bacia hidrográfica, o comitê da bacia é a instituição responsável pela implementação da política descentralizada e participativa definida para o gerenciamento hídrico pela lei 9433/97. De uma maneira geral, o comitê de bacia é composto por representantes dos poderes públicos, em escala federal, estadual e municipal, sociedade civil e entidades usuárias de água.

O Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco (CBHSF), criado por decreto presidencial, em 5 de junho de 2001, tem como uma de suas principais tarefas, a elaboração do plano decenal da bacia, que é o resultado de um amplo debate sobre o gerenciamento dos recursos hídricos (CBHSF, 2004). A Figura 20 mostra integrantes do CBHSF em reunião na ANA.



Figura 20: Reunião do CBHSF com representantes da ANA. Fonte: ANA (2007)

O CBHSF tem em sua estrutura, a figura da plenária geral, onde os membros encontram-se periodicamente para debater temas de interesse dos recursos hídricos, em reunião aberta à participação pública. O comitê possui também grupos de trabalho estruturados em câmaras técnicas. A estrutura geral do comitê compõe-se de: (1) Plenário; (2) Diretoria Colegiada; (3) Diretoria Executiva; (4) Câmaras Consultivas Regionais; (5) Câmaras Técnicas. O CBHSF é dirigido pela diretoria colegiada e seus ocupantes só podem ser substituídos por voto de 2/3 dos integrantes do comitê. As reuniões do CBHSF necessitam de um quorum de 2/3 dos participantes e em caso de assuntos de grande relevância são realizadas audiências públicas. Matérias específicas que requerem maior grau de conhecimento especializado são analisadas nas câmaras técnicas, antes de serem passadas às discussões em plenária (CBHSF, 2007).

O CBHSF tem, entre suas prerrogativas, a atribuição de criar, acompanhar e supervisionar o plano decenal de recursos hídricos da bacia do rio São Francisco. O plano inclui medidas que visam à recuperação hidroambiental da bacia, com vias a garantir os usos múltiplos e a preservação da biodiversidade, procurando substituir o conceito reducionista na conservação das águas. Em 2004, o CBHSF estabeleceu o conceito de vazão ecológica no plano como um critério para se definir a disponibilidade de água na bacia. Esta medida identificou carências de água para usos múltiplos na bacia e recomendou seu uso externo apenas para consumo humano e animal, entrando em conflito com pretensões do plano federal de transposição das águas do rio São Francisco (MACHADO, 2008).

## **5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA**

Para a utilização efetiva de técnicas de análise multicriterial na identificação de um regime de vazões ecológicas, para o baixo curso do rio São Francisco, tornou-se necessária a caracterização científica causal dos fatores que têm influência nos processos associados ao regime hídrico em estudo. Esta caracterização corresponde ao primeiro dos três componentes do processo decisório, ela representa o conhecimento do problema, ou a caracterização da situação problemática. O segundo componente é representado propriamente pelas técnicas de análise do problema, uma delas é a análise multicriterial. O terceiro componente é a linguagem (interface) de interação que os gestores utilizam, sendo que, a aplicabilidade do conhecimento e da análise, está diretamente ligada à linguagem utilizada.

A aplicação da metodologia desta pesquisa apresenta, de maneira integrada, os três componentes citados acima, com a modelagem conceitual do processo decisório observado para o estabelecimento de um regime de vazões ecológicas no baixo São Francisco, a modelagem qualitativa e quantitativa do ecossistema da região, a descrição da estrutura do aplicativo experimental criado e o detalhamento dos experimentos realizados com o aplicativo.

## 5.1 IDENTIFICAÇÃO DE COMPONENTES BÁSICOS DO PROCESSO DECISÓRIO E CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

A partir da análise do contexto decisório, observado na busca de identificação de um regime de vazões ecológicas para o baixo São Francisco, foi construído um modelo conceitual que representa os dois níveis do processo decisório. Na especificação de procedimentos do modelo a um nível mais abstrato, conseguiu-se identificar dois níveis de procedimentos: (1) O *Nível da Pesquisa* e (2) o *Nível da Gestão*. Estes níveis estão associados a atividades distintas e específicas, que de uma maneira geral, podem ser encontradas em processos de identificação de vazões ecológicas, independentemente da área de estudo.

No *Nível da Pesquisa* foram verificados os diversos usos da água na região, considerando-se as demandas do componente biológico e da dinâmica natural da calha principal, seus afluentes, suas planícies de irrigação e seus períodos de estiagem. Neste nível procura-se determinar as relações diretas e indiretas entre valores de vazão em certos períodos, com os aspectos biológicos, hidroclimatológicos, geofísicos e socioeconômicos.

Observa-se que existe uma grande questão, no estudo do conceito de vazão ecológica ou ambiental, que é: Qual a profundidade de suas condicionantes e das conseqüências de sua adoção, tanto para a espécie humana quanto para as outras? A definição mais clara deste conceito implica em se avaliar seriamente perspectivas futuras de mudanças de paradigmas ambientais e lidar com a necessidade premente de um direcionamento econômico efetivo.

Os esforços científicos se preocupam em entender e mapear as relações entre um determinado valor de vazão, mantido durante certo período em um curso de água e os elementos bióticos, hidroclimatológicos, geofísicos e socioeconômicos do ambiente em que se encontra este curso de água. Estas relações indicam as conseqüências da manutenção de um período de vazão sobre determinados aspectos ambientais, estes aspectos são os elementos (critérios) da análise a ser efetuada para a decisão da adoção de um ou outro regime de vazões, decisão esta que não está na esfera científica, mas na política.

O *nível de gestão* observado envolve questões políticas e jogos de interesses, bem como a coordenação e operacionalização de decisões em grupo baseadas na legislação ambiental vigente, a qual prevê que os mecanismos de gestão das águas devem ser descentralizados e participativos. Neste nível, a decisão de adotar um regime de vazões ecológicas implica necessariamente em negociações para alteração das planilhas de alocação de água dos órgãos gestores e também dos planos de operação de reservatórios.

Alterações nos esquemas da alocação de águas podem implicar, sem dúvida, em custos e prejuízos econômicos para alguns setores, principalmente em curto prazo. Alguns exemplos destes custos são: remoção de comunidades e indústrias das planícies de inundação; substituição, ou alteração de planos de operação de geradores de energia hidroelétrica; campanhas de conscientização da população quanto à demanda de energia elétrica e água; movimentações de solo em partes do rio assoreadas; replantio de matas ciliares; reabertura de canais para lagoas marginais; repovoamento de espécies nativas e remoção espécies exóticas.



A construção de um modelo conceitual, mostrado na Figura 21, serviu para que fossem identificados pontos do processo, onde as facilidades de um sistema de apoio à decisão poderiam ser utilizadas com eficiência. Dentro deste aspecto, verificou-se que o ambiente de plenária do comitê da bacia não configurava um espaço adequado, em vista do resumido tempo e da extensa pauta das reuniões plenárias. A aplicação do sistema de apoio à decisão foi feita então no âmbito do Grupo de Recursos Hídricos da UFBA, com busca de informações em reuniões do comitê da bacia e interação com o grupo de pesquisa do projeto ECOVAZÃO (CT-HIDRO).

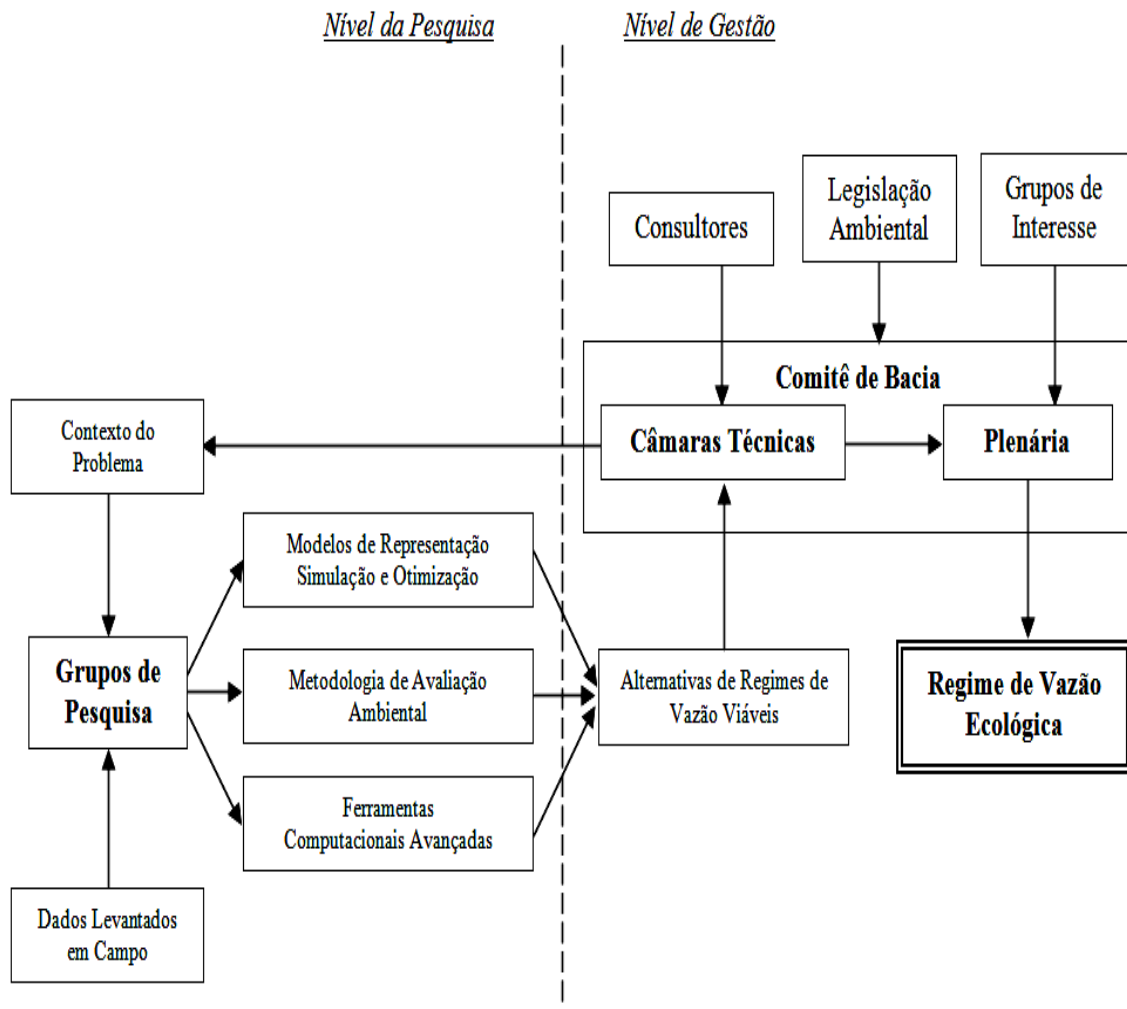


Figura 21: Modelo conceitual, construído com base na análise dos procedimentos observados no processo decisório para identificação de um regime de vazões ecológicas no baixo São Francisco.

## 5.2 CRIAÇÃO DO MODELO QUALITATIVO

A representação sistêmica de aspectos relevantes do contexto ambiental da região em estudo envolveu a criação de um modelo qualitativo através da Teoria Qualitativa de Processos (TQP). A seguir, é apresentado o conhecimento que serviu de base para criação deste modelo, a identificação e integração dos fragmentos, descrita e representada abaixo. O diagrama que apresenta o modelo integral construído se encontra no Apêndice A.

### 5.2.1 Fragmento 1: Aspectos Hidrológicos

A implantação de grandes reservatórios teve impacto profundo sobre a ictiofauna, reduzindo as lagoas marginais que atuavam como locais de reprodução de muitas espécies, estas lagoas também funcionam como depósito de sedimentos que fertilizam as áreas e contribuem assim para a multiplicação das espécies que ali procuravam boas condições de reprodução. Os grandes reservatórios também são responsáveis pela diminuição dos estoques pesqueiros, pois os cardumes têm maior dificuldade em subir o rio, causando o declínio da atividade pesqueira (RAMOS, 2001).

Na construção deste fragmento de modelo, identificou-se que o processo *Grandes Reservatórios* influencia o processo da *Ictiofauna* pelo sua atuação no processo dos *Habitats de Reprodução dos Peixes*, o qual está diretamente ligado ao número de lagoas marginais existentes na calha do rio e influencia diretamente a taxa de reprodução das espécies de peixes, elemento fundamental da Ictiofauna.

Também foi identificado no trabalho de Ramos (2001), que o processo *Grandes Reservatórios* influencia negativamente o processo da *Atividade Pesqueira*, pela sua atuação contrária à subida do rio pelos cardumes, para reprodução. O fragmento que representa este conhecimento é apresentado na figura 22.

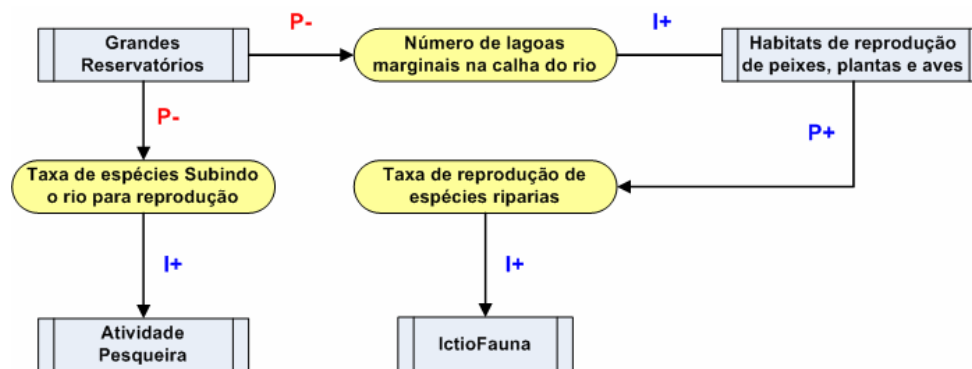


Figura 22: Fragmento que representa aspectos hidrológicos do ecossistema da região.

## 5.2.2 Fragmento 2: Aspectos Geológicos

Segundo Oliveira (2006), a regularização das vazões, causada pelas grandes barragens, é uma das causas principais dos processos erosivos fluviais no baixo curso do rio São Francisco. Os efeitos da erosão hídrica no baixo curso do São Francisco afetam a sustentabilidade local como agentes modificadores da paisagem com graves conseqüências no meio social. A erosão, cujo principal causador é o manejo inadequado do solo, causa a perda de grandes volumes de solo, diminuição de áreas agricultáveis e conseqüente degradação ambiental da região florestal ribeirinha.

Neste fragmento, o processo dos *Grandes Reservatórios*, junto com o processo das *Práticas Inadequadas de Uso do Solo* e o processo de *Retirada da Vegetação Ciliar*, tiveram relevante influência no processo de *Erosão dos Rios*, que

por sua vez, contribui no processo da *Perda de Solo* e diminui o processo de *Desenvolvimento de Pólos de Irrigação*. O processo de *Perda do Solo* afeta o tamanho da área agricultável e causa outro processo, a *Degradação Ambiental da Região Ribeirinha*, que afeta a produção agrícola. O fragmento que representa este conhecimento é apresentado na figura 23.

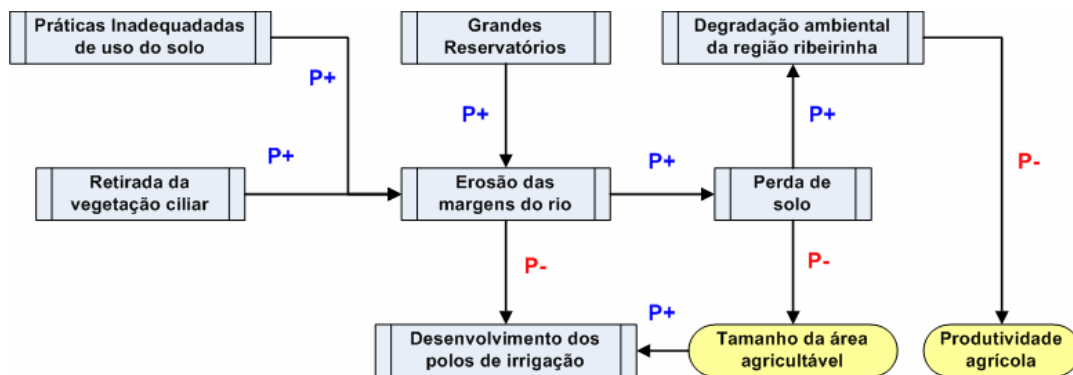


Figura 23: Fragmento que representa aspectos Geológicos do ecossistema da região.

### 5.2.3 Fragmento 3: Aspectos Sociais

Segundo Costa (2003), a diminuição de espécies de peixes no rio causa uma redução do potencial pesqueiro, abandono da atividade por parte dos pescadores e perda do conhecimento da pesca artesanal. A pesca é um importante indicador de qualidade ambiental, associando a disponibilidade quantitativa e qualitativa aos padrões ambientais de uma bacia hidrológica, pois a evolução dos níveis pesqueiros atesta a recuperação ambiental da bacia hidrográfica. A diminuição da pesca causa diminuição dos índices de desenvolvimento humano na região, fazendo com que alguns pescadores apelem para práticas inadequadas de pesca, comprometendo o ecossistema da ictiofauna.

Neste fragmento, o processo da *ictiofauna* afeta positivamente o processo da *Atividade Pesqueira* através no número de espécies de peixes no rio. O processo da *Atividade Pesqueira* afeta o processo da *Qualidade Ambiental da Bacia* e o processo da *Recuperação Ambiental da Bacia*, através da alteração dos níveis pesqueiros. O processo da *Atividade Pesqueira* é relacionado também com o *Conhecimento Sobre a Pesca Artesanal*, através de sua influência na taxa de ocupação com a pesca. Como realimentação do modelo, a *Atividade Pesqueira* afeta o processo dos *Padrões de Desenvolvimento Social*, através da sua influência na renda dos pescadores, por sua vez, os *Padrões de Desenvolvimento Social* afetam a *Ictiofauna* pela sua influência no número de pescadores que se utilizam de práticas de pesca inadequadas. O fragmento que representa aspectos sociais do ecossistema é mostrado na figura 24.

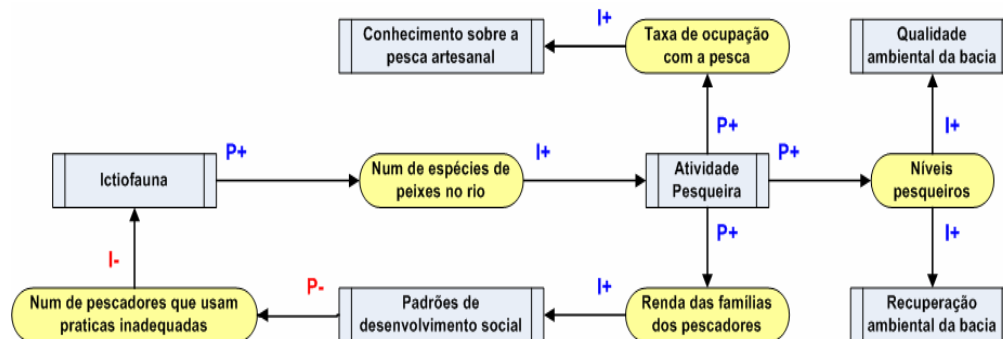


Figura 24: Fragmento que representa aspectos sociais do ecossistema da região.

#### 5.2.4 Fragmento 4: Aspectos Climatológicos

Os gases da atmosfera estão se movendo a todo tempo e sua influência não pode ser ignorada. A precipitação é um dado básico e diretamente proporcional aos valores de vazões geradas pelos modelos de previsão. No caso da bacia do rio São Francisco a evaporação acompanha a variação da temperatura, ascendente de sul para norte, como desce a altimetria (MARENGO e outros, 2005).

Neste fragmento, o processo da *Precipitação* influencia o processo das *Vazões Geradas*. A *Precipitação* é influenciada pela taxa de umidade do ar, a qual está relacionada ao processo de *Evapotranspiração* e este, é influenciado pela temperatura média, sendo esta afetada pela altitude, que tem relação com a latitude. O fragmento que representa aspectos climatológicos é mostrado na figura 25.

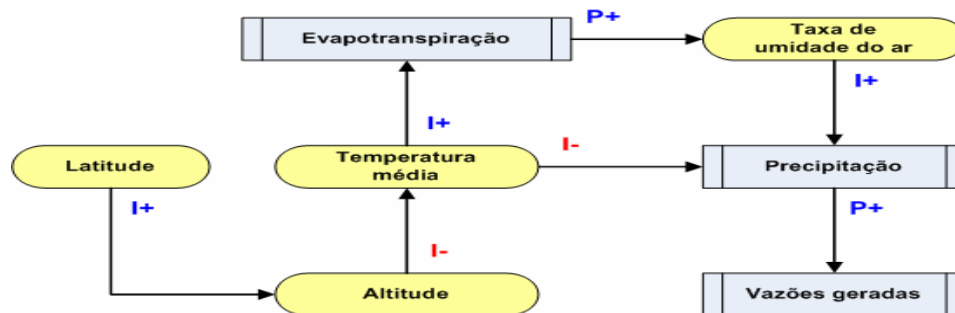


Figura 25: Fragmento que representa aspectos climatológicos do ecossistema da região.

### 5.2.5 Fragmento 5: Aspectos Geofísicos

A regularização das vazões causada pelo processo de barramento do rio São Francisco diminuiu a velocidade média das águas e reduzindo seu potencial de movimentar os sedimentos, fazendo aparecer bancos de areia na região do baixo São Francisco, diminuindo a navegabilidade e o nível de sedimentos na foz, aumentando consideravelmente a erosão nas praias da foz (OLIVEIRA, 2003).

Neste fragmento, o processo *Grandes Reservatórios* influencia o processo de *Carreamento dos Sedimentos* pela alteração da velocidade média das águas. O *Carreamento de Sedimentos*, por sua vez, afeta o processo de *Erosão nas Praias*, através de sua influência no nível de sedimentos na foz, e o processo de *Navegabilidade do Rio* pela criação de bancos de areia. O fragmento que representa aspectos geofísicos é mostrado na figura 26.

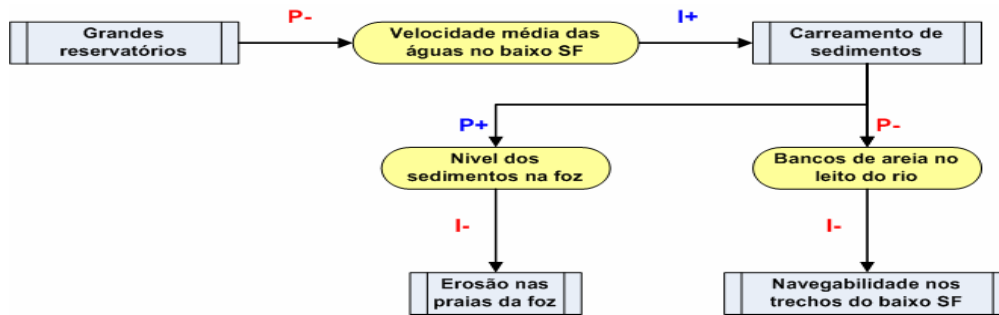


Figura 26: Fragmento que representa aspectos geofísicos do ecossistema da região.

### 5.2.6 Fragmento 6: Aspectos Biológicos

Segundo Medeiros (2003), o nível de biodiversidade, decresce quando poucos indivíduos dominam a comunidade, quando espécies raras são substituídas por outras mais comuns ou quando alguma espécie reproduz-se exageradamente, Foi também citada no estudo de Medeiros (2003), a associação entre a fertilidade dos rios e o nível de biodiversidade de suas águas.

Neste fragmento, o processo da *Biodiversidade* é afetado pelo processo da *Reprodução Acentuada de Algumas Espécies* e também pela taxa de abundância das espécies, pelo número de indivíduos dominantes, pelo nível de fertilidade das águas e pelo processo de *Substituição de Espécies Raras*. O fragmento que representa aspectos Biológicos é mostrado na figura 27.

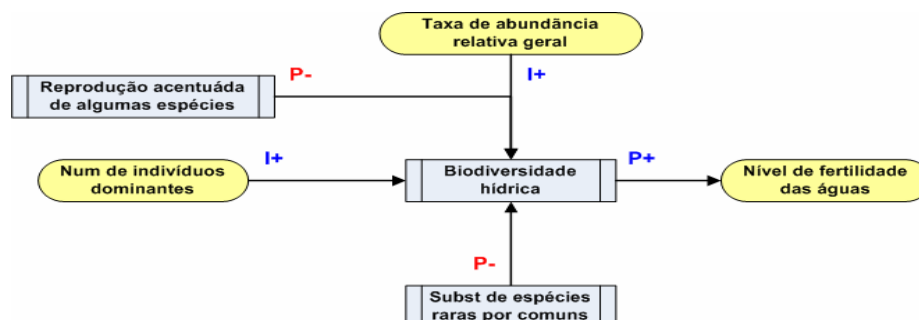


Figura 27: Fragmento que representa aspectos biológicos do ecossistema da região.

### 5.2.7 Integração dos Fragmentos do Modelo

O procedimento de integração dos fragmentos tem por objetivo identificar os elementos de mesma significação entre os fragmentos e estabelecer ligação entre eles. Algumas ligações são estabelecidas e alguns elementos novos podem ser incluídos no modelo para manter a coerência e satisfazer determinadas regras da modelagem.

A análise das interfaces entre os fragmentos foi feita começando pelo fragmento 1 (hidrológico), comparado ao fragmento 2 (geológico), vemos que eles se identificam em uma entidade que é Grandes reservatórios. Com relação ao fragmento 5 (geofísico), o fragmento 1 também se relaciona pelo elemento Grandes reservatórios, este processo é então um elemento de ligação entre os três fragmentos.

Por sua vez, o fragmento 1 se relaciona com o fragmento 4 (climatológico) no aspecto pluviosidade, que gera vazão e alimenta os reservatórios. Estes reservatórios têm uma influência em praticamente todos os outros fragmentos do modelo, pois seu funcionamento pode afetar o desenvolvimento da ictiofauna, que é um dos elementos principais do fragmento 3 (social) e este está centrado na atividade pesqueira, que tem na ictiofauna sua fonte básica.

O fragmento 6 (biológico) é centrado na análise causa-efeito da biodiversidade, por isso tem seu relacionamento identificado com a ictiofauna, que é influenciada também pelo comportamento humano, modelado no fragmento 3. O



fragmento 1 tem sua abordagem mais voltada à influência biológica e social da água, não foram abordados outros aspectos, portanto este fragmento está também ligado à ictiofauna.

Os fragmentos 2 e 5, geológicos e geofísicos, estão associados ao nível do solo e, naturalmente tomam uma posição inferior no modelo geral, o fragmento 4, que é um (micro) modelo do sistema climatológico, ocupa a posição superior, ficando o fragmento 1, que representa o sistema hídrico, entre os geofísicos e os sociais e biológicos.

O modelo integralizado representa a união de várias pesquisas científicas e a democratização do conhecimento, pois mostra muitas informações em uma simples estrutura, fácil de assimilar. Este modelo representa um subconjunto do conhecimento científico ambiental com referência à região do baixo São Francisco. Ele pode continuar a ser desenvolvido, refinado e verificado, para que cumpra ainda mais eficazmente sua função, que é apresentar, de forma simples, mecanismos que co-existem e interagem no meio ambiente da região estudada.

Na fase de busca do conhecimento que foi utilizado na modelagem qualitativa, algumas pesquisas foram descartadas, pois não apresentavam como resultados, análises de correlação entre os dados gerados e o tema de interesse desta pesquisa. Os blocos de informação causal, gerados pelas pesquisas encontradas e selecionadas, formaram a base para a construção dos fragmentos do modelo. Na criação dos fragmentos e posterior integralização do modelo foi utilizado o software *Microsoft Visio*, uma ferramenta de diagramação bastante versátil.

### 5.3 UTILIZAÇÃO DO MODELO QUANTITATIVO

Completando a parte de modelagem, utilizou-se o modelo MODSIM, que forneceu como resultados, possíveis cenários para a análise multicriterial. Os dados para utilização do modelo foram obtidos do projeto AMODOUTOR (2006). O Projeto AMODOUTOR (Abordagem Multiobjetivo para Decisão de Outorga), foi um projeto de pesquisa patrocinado pelo CT-HIDRO, que analisou a bacia do rio São Francisco em sua totalidade, com estudo baseado nos dois principais reservatórios da bacia, isto é, Três Marias e Sobradinho.

O objetivo do projeto AMODOUTOR foi estudar a alocação de águas entre os estados que têm alguma parte de seu território na bacia do rio São Francisco a partir da fixação de um valor para a vazão mínima de 1300 m<sup>3</sup>/s. Situações conflitantes foram estudadas visando a criação de cenários de simulação pelo MODSIM (ACQUANET) e os resultados da simulação foram submetidos a um método de análise multicriterial, tendo como indicadores um conjunto de variáveis de performance do sistema hídrico. Nesta simulação foi estabelecido um valor de vazão “ecológica” fixo para verificar se o comportamento da rede atenderia ao valor especificado como mínimo.

Considerando que não é de interesse deste trabalho analisar a rede hídrica do São Francisco em sua totalidade, esta pesquisa utilizou os dados do projeto AMODOUTOR apenas com relação ao reservatório de Sobradinho, pois se verifica que sua influência no ecossistema (do baixo São Francisco) se apresenta de maneira representativa. Saliencia-se que, como há apenas um reservatório no sistema, o algoritmo do MODSIM distribui a água de acordo às prioridades, sem a

necessidade de compensação linear e balanceamento de massa. A estrutura (simplificada) da rede hídrica usada nesta pesquisa é apresentada na Figura 28. O esquema de prioridades de atendimentos utilizado nas simulações é mostrado na Tabela 1. A escala de prioridades do MODSIM vai de 1 a 99, sendo que, quanto maior o número, menor a prioridade. Este esquema considerou apenas os cenários, definidos no AMODOUTOR, que tem relação com o reservatório de Sobradinho, constituindo um grupo de nove cenários a simular.

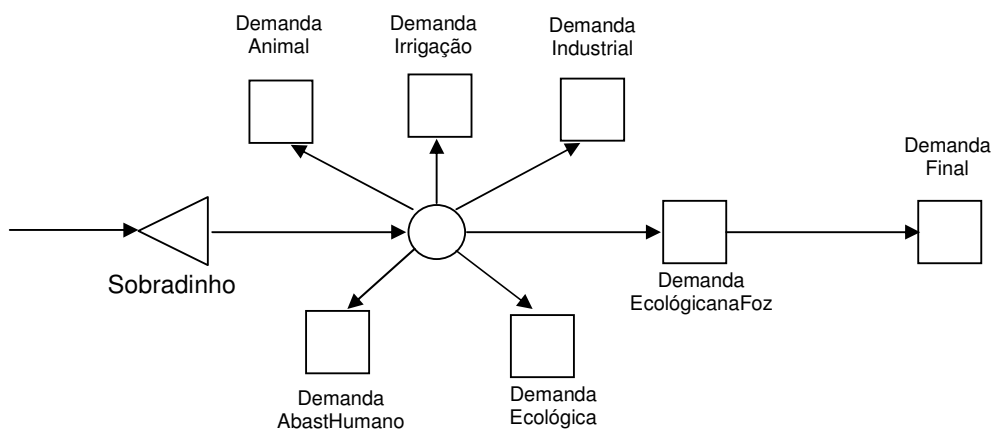


Figura 28: Estrutura da rede hídrica montada no ACQUANET para esta pesquisa.

.Cenários	Sob	VazEco	VazEcoFoz	AbasHum	Irrigação	Indústria	Animal	DFinal
C1	50	5	5	10	25	30	20	1
C2	50	5	5	10	25	30	20	99
C3	50	5	5	10	1	30	20	99
C4	15	5	5	10	25	30	20	99
C5	25	5	5	10	25	30	20	99
C6	2	5	5	10	25	30	20	99
C7	2	5	5	10	10	30	20	99
C12	50	5	5	10	10	30	20	99
C13	25	5	5	10	1	30	20	99

Tabela 1: Prioridades de atendimento do reservatório e das demandas simulados no MODSIM.

Os valores para as demandas foram considerados fixos e definidos conforme a Tabela 2.

VazEco	VazEcoFoz	AbasHum	Irrigação	Indústria	Animal	DFinal
1.300	1.300	17,99	80,79	9,23	3,96	20.000

Tabela 2: Valores ( $m^3/s$ ) das demandas consideradas nas simulações no MODSIM, para o reservatório de Sobradinho. AMODOUTOR (2006).

As séries de valores de vazão natural ao reservatório de Sobradinho, que foram usadas no MODSIM, são apresentadas na Tabela 3.

Ano \ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1977	3171	4314	1411	1448	1310	965	841	745	704	958	1087	2053
1978	4495	3883	5188	3278	1958	1738	1162	1144	930	1321	1645	2846
1979	4439	6065	12592	5434	2620	2064	1741	1497	1586	1509	2707	2522
1980	4229	7187	8862	3465	2545	1792	1704	1467	1327	1523	1878	3803
1981	4677	3848	2943	4904	2198	1591	1296	1215	1113	1517	3093	4155
1982	4297	5416	4798	4718	2488	1794	1565	1318	1207	1137	981	939
1983	2835	3785	6150	4107	2354	1218	1167	1114	924	1253	2324	3646
1984	4314	1855	1923	2719	1238	942	872	835	940	960	1327	2863
1985	3686	5180	4439	3414	1555	1186	967	874	864	1215	1592	2557
1986	4541	5700	3422	1404	1219	869	880	874	849	898	919	1330
1987	1852	1510	1839	1944	1158	797	782	626	619	692	997	2718
1988	4033	2485	2805	2092	1389	838	796	775	591	741	1234	2058
1989	2761	1896	2126	1166	853	793	827	694	722	797	1490	4013
1990	8024	2880	2489	1525	1025	817	924	818	789	806	1101	1329
1991	2574	3297	3062	3585	1439	979	868	853	770	958	1643	2440
1992	3138	5929	10504	2526	1773	1212	1035	943	1028	1359	3093	3384
1993	4462	3239	2610	1605	1188	989	898	826	712	912	880	1484
1994	3627	3268	3668	3444	1492	994	1009	787	783	564	683	2427
1995	2154	2177	1753	1803	1197	825	793	625	515	672	1212	2339
1996	2879	1227	1523	1046	810	665	578	542	528	532	1024	2058
1997	3470	2461	2965	2901	1690	1119	800	787	744	746	957	2183
1998	1947	2130	2009	861	610	511	524	482	394	449	1416	2484
1999	2106	1093	2844	1307	749	588	560	509	578	446	1171	2220
2000	3191	3450	2744	2201	1146	797	633	706	671	545	1421	2785
2001	2258	1191	1254	760	644	652	503	506	527	532	854	1579

Tabela 3: Vazões naturais ( $m^3/s$ ) no reservatório de Sobradinho nos 25 anos da simulação, AMODOUTOR (2006).

Como o projeto AMODOUTOR lidava com a bacia inteira, ele considerou duas demandas chamadas de “ecológicas”, sendo um valor para a parte do médio curso do rio e outro valor para a Foz. No caso desta pesquisa, que tem foco no baixo curso do rio, apenas os valores gerados pela simulação do modelo, para a demanda ecológica da foz, foram utilizados como alternativas de hidrogramas ecológicos.

Após a simulação da rede hídrica simplificada com o uso do MODSIM, foram obtidos nove conjuntos de valores de vazões, em séries mensais de 25 anos,

sendo estas então, sintetizadas em séries de vazões médias mensais ( $m^3/s$ ), mostradas na tabela 4, onde aparecem marcadas pela análise de semelhança.

NomeRegime	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>CenárioSimuladoFoz-1</b>	<b>1990</b>	<b>1958</b>	<b>1956</b>	<b>1855</b>	<b>1674</b>	<b>1621</b>	<b>1592</b>	<b>1468</b>	<b>1342</b>	<b>1319</b>	<b>1539</b>	<b>1946</b>
<b>CenárioSimuladoFoz-2</b>	<b>1437</b>	<b>1482</b>	<b>1508</b>	<b>1495</b>	<b>1398</b>	<b>1291</b>	<b>1174</b>	<b>1118</b>	<b>1091</b>	<b>1089</b>	<b>1198</b>	<b>1355</b>
CenárioSimuladoFoz-3	1437	1482	1508	1495	1397	1291	1172	1116	1088	1087	1195	1355
CenárioSimuladoFoz-4	1437	1482	1508	1495	1406	1291	1198	1129	1089	1089	1207	1358
CenárioSimuladoFoz-5	1437	1482	1508	1495	1406	1291	1197	1129	1089	1089	1206	1358
<b>CenárioSimuladoFoz-6</b>	<b>1747</b>	<b>1613</b>	<b>1672</b>	<b>1468</b>	<b>1041</b>	<b>703</b>	<b>494</b>	<b>350</b>	<b>255</b>	<b>331</b>	<b>805</b>	<b>1540</b>
CenárioSimuladoFoz-7	1747	1613	1672	1468	1041	703	494	350	255	331	805	1540
CenárioSimuladoFoz-12	1437	1482	1508	1495	1398	1291	1174	1118	1091	1089	1198	1355
CenárioSimuladoFoz-13	1437	1482	1508	1495	1398	1291	1174	1116	1088	1087	1196	1355

Tabela 4: Cenários de séries de vazões mensais gerados pelo MODSIM, com análise da semelhança das séries e séries a serem utilizadas (em destaque).

Observamos que algumas séries de vazões apresentaram uma grande semelhança em seus valores (Tabela 4), foi então escolhida uma delas como série representante e as outras semelhantes foram descartadas. Utilizamos então três (Tabela 5) das séries de vazão geradas pelo MODSIM.

NomeRegime	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>CenárioSimuladoFoz-1</b>	1990	1958	1956	1855	1674	1621	1592	1468	1342	1319	1539	1946
<b>CenárioSimuladoFoz-2</b>	1437	1482	1508	1495	1398	1291	1174	1118	1091	1089	1198	1355
<b>CenárioSimuladoFoz-6</b>	1747	1613	1672	1468	1041	703	494	350	255	331	805	1540

Tabela 5: Vazões geradas pelo MODSIM, escolhidas para análise.

O modelo MODSIM foi usado, com parte da configuração definida no projeto AMODOUTOR, para gerar cenários de vazões em uma demanda chamada de “ecológica”, com a intenção de se obter um conjunto de alternativas com uma base científica. Dados e parâmetros de prioridades de atendimento, utilizadas no AMODOUTOR, foram consideradas, visto que estas prioridades foram estabelecidas para cumprir as necessidades do projeto. Então os cenários gerados pela simulação do MODSIM foram chamados de “Simulados Foz (1)”, “Simulados Foz (2)” e “Simulados Foz (3)”.

#### 5.4 UTILIZAÇÃO DE OUTROS HIDROGRAMAS COMO ALTERNATIVAS

As alternativas de análise podem também, conjuntamente com as séries de dados, obtidas do modelo MODSIM, utilizar-se de outras séries (hidrogramas) para comparação efetiva. A título de incrementação das possibilidades de análise do trabalho, foram incluídas três outras séries de vazões representando sugestões da rede de pesquisa do ECOVAZÃO (CT-HIDRO).

A rede ECOVAZÃO é um grupo de pesquisa interdisciplinar e interinstitucional, criado sob o patrocínio do CT-HIDRO, para articular iniciativas e campos do conhecimento na complexa tarefa de determinar um regime de vazões ecológicas para o baixo curso do rio São Francisco. Este grupo deve produzir respostas articuladas e integradas, atendendo à múltiplas demandas, de natureza ambiental, econômica e social.

A rede ECOVAZÃO é constituída por três outras sub-redes: (1) *Aspectos Hidrológicos*, que contempla três projetos de pesquisa nesta área; (2) *Aspectos Limnológicos e Ecológicos*, com quatro projetos de pesquisa; (3) *Aspectos Sócio-Econômicos*, com dois projetos de pesquisa. A estrutura de funcionamento da rede prevê reuniões e oficinas internas, bem como trabalhos com as comunidades dos locais escolhidos como pontos de coleta de informação, no baixo curso do São Francisco.

Em seus primeiros meses de existência, a rede ECOVAZÃO procurou contextualizar o problema, objetivando obter subsídios para a escolha de um método de avaliação ambiental, adequado às capacidades e limitações do projeto. Depois

de vários estudos, foi escolhido o método BBM (Building Block Method) para estruturar as informações já levantadas e outras necessárias para se especificar um regime, ou alternativas de regimes, de vazão ecológica para o São Francisco. Uma especificação de conceitos assumida pela rede ECOVAZÃO foi feita com relação à palavra “ambiental”, que por decisão do grupo, passou a substituir a palavra “ecológica”, em seus trabalhos. Esta mudança de nomenclatura foi feita porque a palavra *ambiental* exprime melhor o caráter *holístico* da pesquisa da rede. Isto se tornou evidente, depois da escolha do método BBM, como uma filosofia de trabalho holística, para direcionar os trabalhos da rede.

Segundo o método BBM, uma parte significativa dos trabalhos de pesquisa em busca de um hidrograma ecológico é feita em oficinas (workshops). Estas oficinas congregam os cientistas em um esforço de integração e estruturação do conhecimento levantado em cada área de trabalho. Na oficina de setembro de 2009, a rede ECOVAZÃO sintetizou alguns hidrogramas como alternativas para a identificação de um regime de vazões ecológicas adequado ao baixo curso do rio São Francisco. Com permissão da coordenação da rede, foram utilizados, aqui neste trabalho de pesquisa, três hidrogramas resultantes dos trabalhos da oficina de 09/2009. Estes hidrogramas correspondem a valores de vazão sugeridos para cenários distintos, que têm a significação de “Ano Seco”, “Ano Normal” e “Ano Úmido”, sendo apresentados na Tabela 6 e utilizados nesta abordagem, como parte do conjunto de alternativas viáveis para hidrogramas ecológicos.

NomeRegime	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Rede Ecovazão (AnoSeco)</b>	2020	2300	2100	1837	1271	1218	1072	946	900	950	1331	1740
<b>Rede Ecovazão (Ano Normal)</b>	3060	3500	3441	2984	1919	1764	1610	1455	1300	1350	1831	2483
<b>Rede Ecovazão (Ano Úmido)</b>	5484	6468	5765	5134	3785	2143	1944	1746	1547	1702	2262	4523

Tabela 6: Cenários da rede ECOVAZÃO, com séries de vazões mensais, para análise do SAM.

Associado ao conjunto de alternativas escolhidas, para verificação da abordagem desta pesquisa, foi inserido um regime de vazões naturais (Tabela 7), geradas pelo ONS (Operador Nacional do Sistema). Este regime foi sintetizado pelo cálculo da média mensal, a partir das séries de vazões naturais (1931 a 2007), disponíveis no *website* do ONS, especificadamente para o reservatório de Xingó. O cenário de vazões médias naturais, obtido pela sintetização da série de vazões naturais disponibilizadas pelo ONS, atua como uma referência de cenário, tanto para a análise multicriterial, como pela comparação dos resultados da análise.

NomeRegime	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Vazões Naturais (Médias)</b>	4790	5133	5211	4176	2564	1668	1367	1195	1068	1141	1795	3323

Tabela 7: Cenário referencia, obtido a partir de série de vazões naturais (m<sup>3</sup>/s) do ONS (2010).

O quadro completo, com o conjunto dos cenários que foram utilizados como alternativas para a experimentação da pesquisa, é apresentado na Tabela 8.

NomeRegime	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Simulado Foz (1)</b>	1990	1958	1956	1855	1674	1621	1592	1468	1342	1319	1539	1946
<b>Simulado Foz (2)</b>	1437	1482	1508	1495	1398	1291	1174	1118	1091	1089	1198	1355
<b>Simulado Foz (3)</b>	1747	1613	1672	1468	1041	703	494	350	255	331	805	1540
<b>Rede Ecovazão (AnoSeco)</b>	2020	2300	2100	1837	1271	1218	1072	946	900	950	1331	1740
<b>Rede Ecovazão (AnoNormal)</b>	3060	3500	3441	2984	1919	1764	1610	1455	1300	1350	1831	2483
<b>Rede Ecovazão (AnoÚmido)</b>	5484	6468	5765	5134	3785	2143	1944	1746	1547	1702	2262	4523
<b>Vazões Naturais (Médias)</b>	4790	5133	5211	4176	2564	1668	1367	1195	1068	1141	1795	3323

Tabela 8: Conjunto total de cenários de séries de vazões utilizados nos experimentos com o SAM.

Para efeito de “balizamento”, entre os valores viáveis das alternativas para um regime de vazões no baixo São Francisco, foram introduzidos no sistema, os hidrogramas de vazões naturais mínimas e máximas (Tabela 9), também obtidos do ONS. Estas séries não foram utilizadas na análise multicriterial.

NomeRegime	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Vazões Naturais (Mínimas)</b>	1737	1474	1759	1377	862	850	685	631	501	507	615	1181
<b>Vazões Naturais (Máximas)</b>	9620	10823	16102	8311	9046	4580	2683	2133	1981	2018	4069	6218

Tabela 9: Séries de vazões, obtidas do ONS, utilizados como limitações para as alternativas.



## 5.5 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DO APLICATIVO MULTICRITERIAL

Para realização dos experimentos desta pesquisa foram criados dois aplicativos de software, como módulos de análise multicriterial, um funcionando sob lógica clássica e o outro sob lógica difusa. Eles foram integrados por um sistema, o Sistema de Análise Multicriterial (SAM). A Figura 28 ilustra, em blocos, a estrutura do módulo de análise multicriterial clássica (SAMClass) e a Figura 30, os blocos do módulo de análise multicriterial difusa (SAMDif). A descrição das funcionalidades do SAM é feita no Apêndice B.

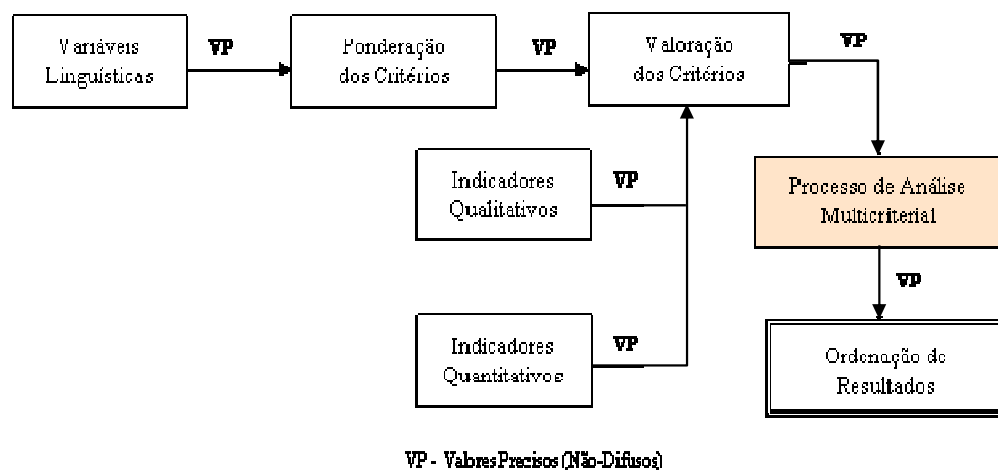


Figura 29: Estrutura do Módulo de Análise Multicriterial Clássica – SAMClass.

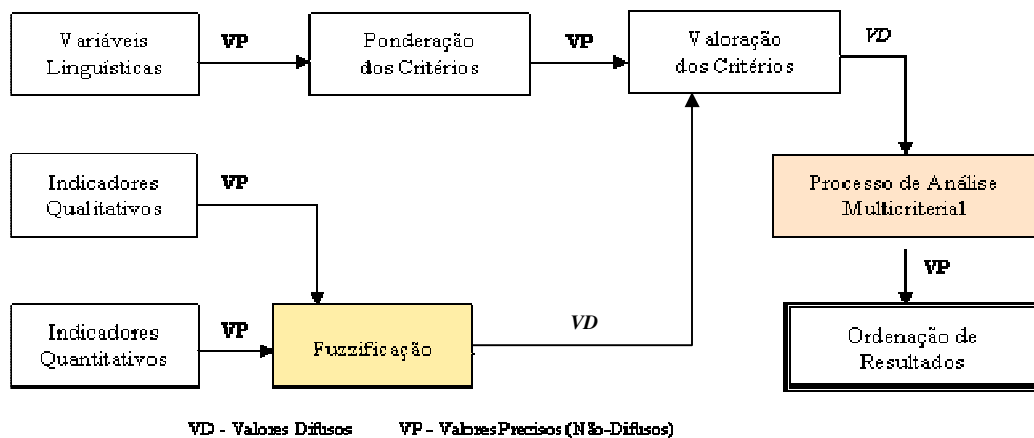


Figura 30: Estrutura do Módulo de Análise Multicriterial Difuso – SAMDif.

Os SAD's desenvolvidos se baseiam no processamento de uma "árvore de decisão multicriterial", mostrada (de forma genérica) na Figura 31. Nesta árvore temos critérios, ou "famílias" de critérios, estruturados em três possíveis situações:

- (1) Famílias Só com Filhos – são agrupamentos de critérios onde o critério principal (pai) só tem sub-critérios (filhos) que não têm outros sub-critérios;
- (2) Famílias com Filhos e Pais – formadas por agrupamentos de critérios que tem pelo menos um sub-critério que tem abaixo de si, outros sub-critérios.
- (3) Critérios sem Filhos – considerados as "folhas" da árvore de decisão, estes critérios não possuem sub-critérios.

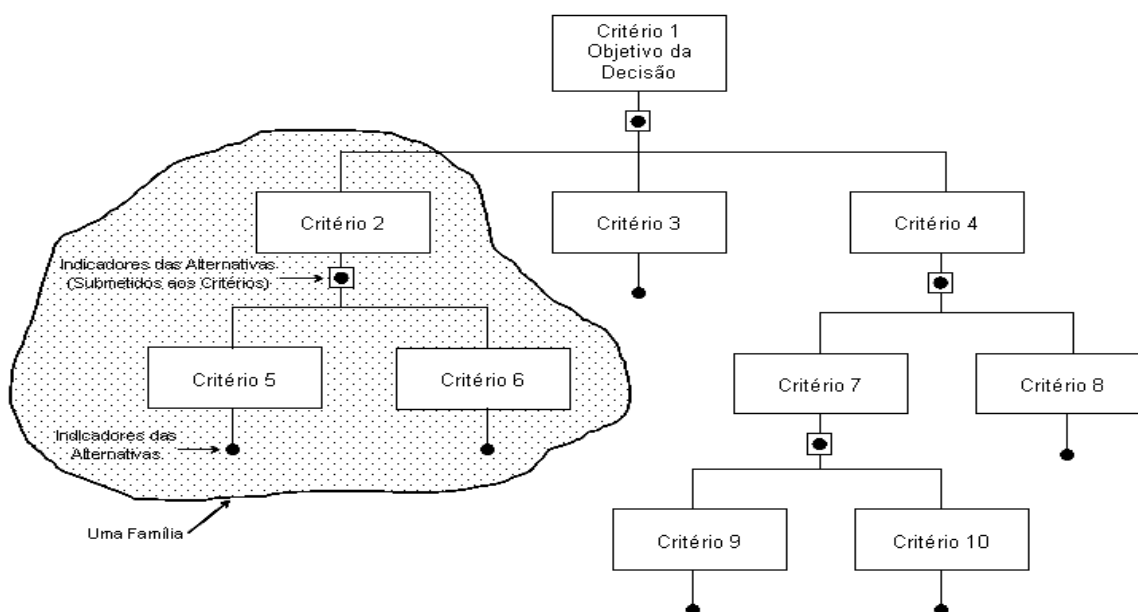


Figura 31: Árvore (forma geral) de decisão, com famílias de critérios.

Na Tabela 10 são especificadas as famílias que compõem a árvore de decisão mostrada na Figura 31.

Tipo da Família	Critérios-Pais das Famílias / Critérios Filhos
(1) Famílias só com filhos	2 e 7
(2) Famílias com pais e filhos	1 e 4
(3) Filhos sem filhos	3, 5, 6, 8, 9 e 10

Tabela 10: Descrição das famílias da árvore de decisão da Figura 31.

O sistema identifica e processa primeiramente as famílias do tipo 1 para determinar os indicadores de seus “critérios-pai”. Após todas as famílias do tipo 1 serem processadas, o sistema passa a processar as famílias do tipo 2, da última para a primeira, garantindo assim que os indicadores dos “Critérios-Pais” tenham sido gerados com base na análise de seus filhos.

Quando o sistema “processa” uma família de critérios significa que ele submete esta família ao método de análise multicriterial (que está sendo experimentado) para gerar o indicador do critério “pai da família”. Ele realiza este processamento iniciando pelas famílias de numeração (do critério) maior para a família de numeração menor. Utilizando esta lógica (fragmentação das famílias) o sistema pode processar um número ilimitado de famílias, mas cada critério “pai de família” só pode ter um máximo de sete subcritérios “filhos” diretos.

Os indicadores quantitativos disponíveis no aplicativo são gerados por consultas à base de dados, as quais manipulam as informações das séries de vazões analisadas diretamente ou através de composição com outras séries de dados. Estas consultas associam as informações necessárias e, se necessário utilizam funções escritas em MS Visual Basic for Applications (VBA). Cada indicador, quantitativo ou qualitativo, registrado no SAM, deve ter um conjunto difuso associado a ele. Os indicadores quantitativos são criados por especialistas, como produto de pesquisas efetuadas em torno de cada área de atuação, por conta disso, os especialistas devem indicar também, quais os tipos de critérios que devam estar naturalmente associados a um determinado indicador, para que os decisores possam montar a sua estrutura decisória de maneira coerente.

Os conjuntos difusos (que representam e são formados pelas possíveis variáveis difusas) devem ser “construídos” por um especialista, pois este é quem deve saber quais os valores de pertinência corretos para cada variável difusa a definir. É possível analisar muitas variáveis difusas para um mesmo conjunto difuso. Por exemplo, na Figura 12 (Pg. 69), analisamos apenas o aspecto da normalidade (variável) da temperatura de um forno (conjunto) que pode ser associado ao indicador "Equilíbrio Térmico da Padaria".

Quando um processo de análise é disparado no SAM, o programa executa os procedimentos relativos às quatro metodologias em estudo (SAW, SPW, CP e TOPSIS) nas versões sob lógica “clássica” e “difusa”. Após isto ele apresenta os resultados ordenados por pontuação em uma tela de comparação numérica e também, os mesmos resultados em sua forma gráfica, ordenados pelo nome da alternativa, em outra tela.

O aplicativo foi construído sobre a plataforma MS Windows XP e VISTA, utilizando o gerenciador de dados MS ACCESS 2003, programado em VBA e acessando consultas SQL. O modelo qualitativo foi diagramado com o uso do MS Visio 2003 e o modelo quantitativo MODSIM (ACQUANET) foi obtido diretamente do *web site* da USP.

As funcionalidades completas do sistema, suas telas e procedimentos estão descritos no Apêndice B. As telas apresentadas a seguir manipulam apenas os dados básicos e os apresentam os resultados das análises como valores constantes nas tabelas da base de dados do sistema.

## 5.6 EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O SISTEMA CONSTRUIDO

A seguir são apresentados os experimentos feitos no SAM, no caso, foram utilizados dados básicos de entrada idênticos, para se verificar diferença no funcionamento dos dois sistemas. As Figuras 32 a 41 mostram os conjuntos de dados básicos, os quais serão mantidos nos experimentos que se seguirão.

IdAlter	Nome da Alternativa	Regime de Vazões
1	Simulada 1	Simulado Modsim Foz (1)
2	Simulada 2	Simulado Modsim Foz (2)
3	Simulada 3	Simulado Modsim Foz (3)
4	Ecovazão Ano Seco	Rede Ecovazão (AnoSeco)
5	Ecovazão Ano Normal	Rede Ecovazão (AnoNormal)
6	Ecovazão Ano Úmido	Rede Ecovazão (AnoÚmido)
7	Vazões Naturais Médias	Vazões Naturais (Médias)
*	0	

Devem ser inseridas, de 2 a 7 Alternativas, numeradas em ordem, de 1 a 7.  
O Regime de Vazões não pode ser repetido.

Indicadores QUANTITATIVOS    Indicadores QUALITATIVOS    Sair

Registro: 5 de 7

Figura 32: Registros de alternativas a analisar.

A utilização do conjunto de indicadores foi apenas demonstrativa e foram criados apenas alguns indicadores, mas este conjunto (biblioteca) deve conter a maior quantidade de indicadores possíveis de serem gerados para os hidrogramas em análise. Estes indicadores podem ser obtidos na aplicação de um modelo de avaliação de habitat como o BBM ou o DRIFT. Como as pesquisas ainda estão em curso para se determinar valores desejáveis para alguns indicadores, as funções de pertinência foram *arbitradas* para verificação da operacionalidade da abordagem, futuramente os valores de pertinência dos indicadores poderão ser corrigidos. As Figuras 33 a 40 apresentam as funções de pertinência dos indicadores definidos no aplicativo.

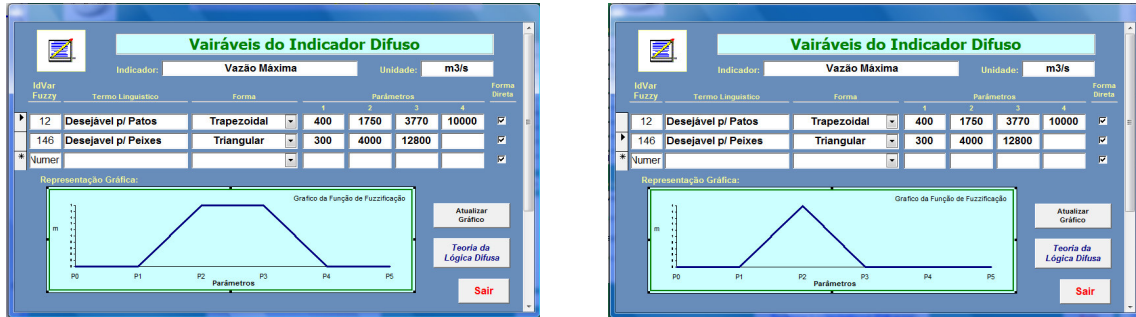


Figura 33: Funções de pertinência definidas para o indicador *Vazão Máxima*.

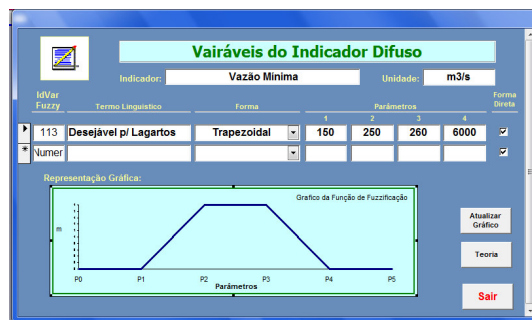


Figura 34: Função de pertinência definidas para o indicador *Vazão Mínima*.

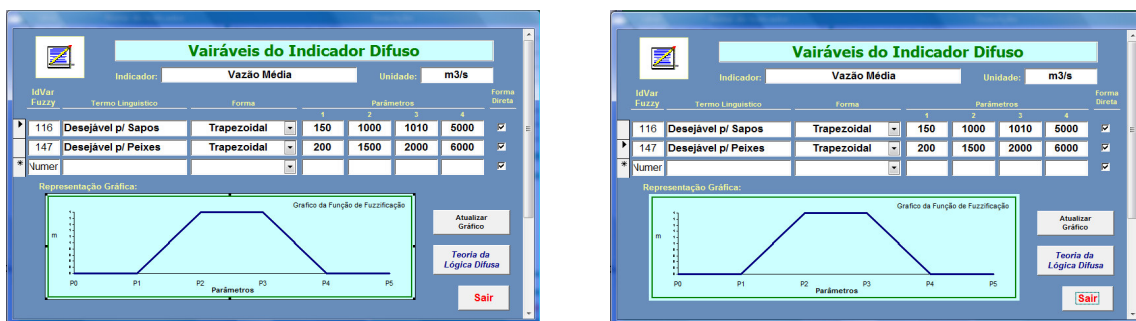


Figura 35: Funções de pertinência definidas para o indicador *Vazão Média*.

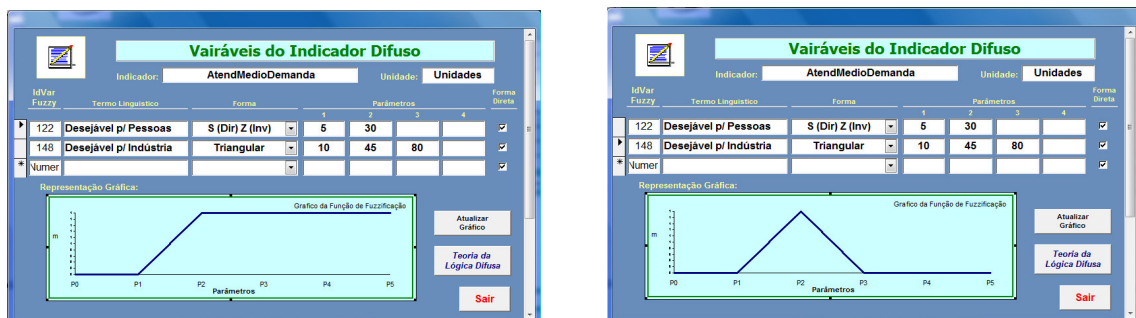


Figura 36: Funções de pertinência definidas para o indicador *AtendMedioDemanda*.

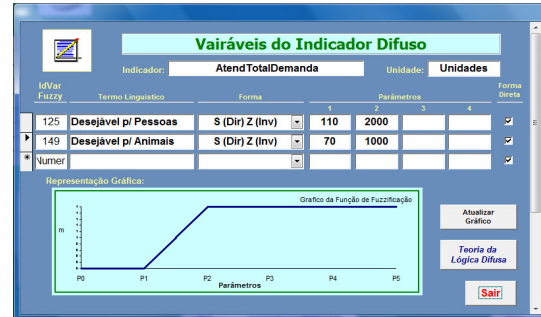
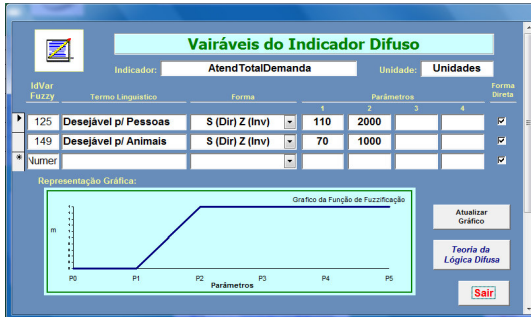


Figura 37: Funções de pertinência definidas para o indicador *AtendTotalDemanda*.

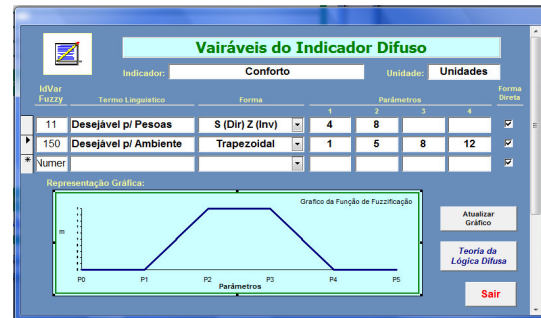
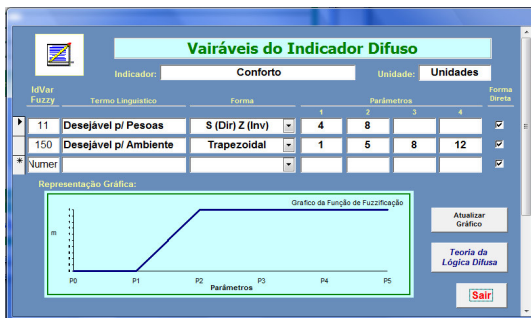


Figura 38: Funções de pertinência definidas para o indicador qualitativo *Conforto*.

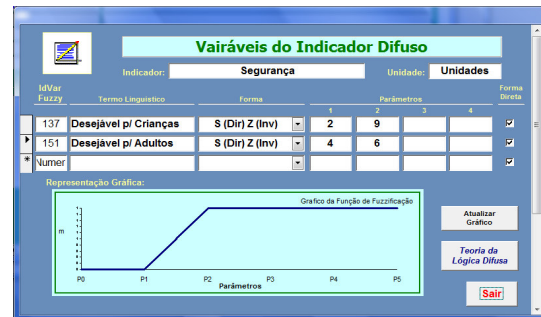


Figura 39: Funções de pertinência definidas para o indicador qualitativo *Segurança*.

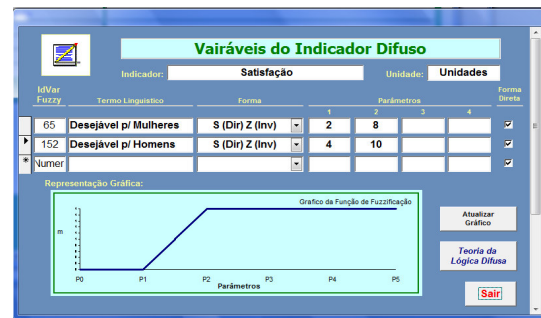
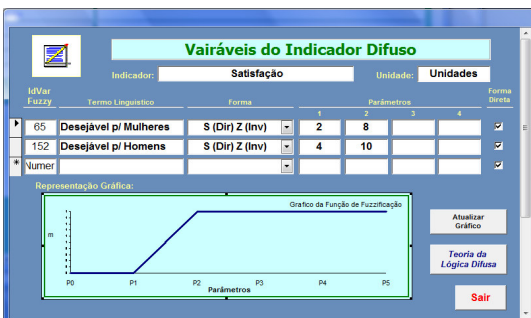


Figura 40: Funções de pertinência definidas para o indicador qualitativo *Satisfação*.

Por fim, a estrutura de critérios e indicadores para todos os experimentos, tem a forma definida na Figura 41. Esta estrutura foi montada de forma simples, com critérios escolhidos de forma a espelhar as grandes áreas do tema.

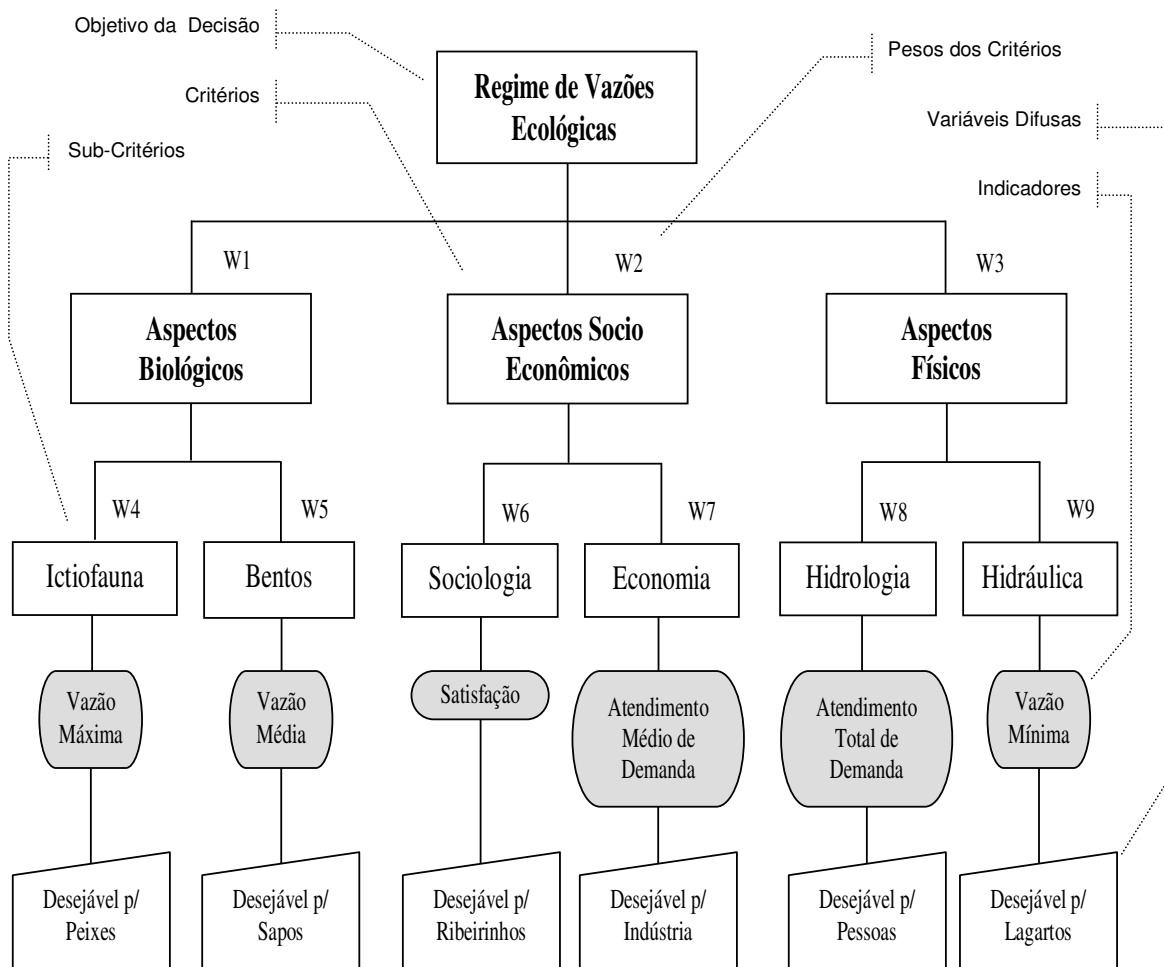


Figura 41: Definição da estrutura da árvore de decisão usada pelos experimentos.

A estrutura (Figura 41) e os dados (Figuras 32 a 40 e a Tabela 11) são usados em todos os experimentos, variando-se apenas, para efeitos de experimentação, a composição de pesos relativos dos critérios  $W = (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9)$ . Os valores calculados (quantitativos) e os



valores escolhidos (qualitativos) para os indicadores das alternativas analisadas são apresentados na Tabela 11.

Como se pode perceber pela Tabela 11, os valores dos indicadores correspondentes às variáveis difusas situam-se apenas na faixa [0, 1], representando os valores dos indicadores (em lógica clássica), submetidos às funções de pertinência, associadas por definição, a estes. Com relação à unidades, apenas os indicadores *Vazão Máxima, Mínima e Média* tem unidades.

Alternativas Indicadores Variáveis Difusas	Simulada	Simulada	Simulada	Ecovazão	Ecovazão	Ecovazão	Vazões	Unidade
	1	2	3	Ano Seco	Ano Normal	Ano Úmido	Naturais Médias	
<b>Vazão Máxima</b>	1989,79	1507,89	1747,07	2300,00	3500,00	6468,00	5211,00	m³/s
Desejável p/ Patos	1,000	0,821	0,998	1,000	1,000	0,567	0,769	--
Desejável p/ Peixes	0,457	0,326	0,391	0,541	0,865	0,720	0,862	--
<b>Vazão Mínima</b>	1318,57	1089,01	254,65	900,00	1300,00	1547,00	1068,00	m³/s
Desejável p/ Lagartos	0,816	0,856	1,000	0,889	0,819	0,776	0,859	--
<b>Vazão Média</b>	1688,24	1302,93	1001,68	1473,75	2224,75	3541,92	2785,91	m³/s
Desejável p/ Sapos	0,830	0,927	1,000	0,884	0,696	0,365	0,555	--
Desejável p/ Peixes	1,000	0,848	0,617	0,980	0,944	0,615	0,804	--
<b>AtendMedioDemanda</b>	17,89	13,68	11,59	16,17	24,52	39,83	31,89	--
Desejável p/ Pessoas	0,516	0,347	0,264	0,447	0,781	1,000	1,000	--
Desejável p/ Indústria	0,225	0,105	0,045	0,176	0,415	0,852	0,626	--
<b>AtendTotalDemanda</b>	214,67	164,14	139,05	194,07	294,24	477,93	382,74	--
Desejável p/ Pessoas	0,055	0,029	0,015	0,044	0,097	0,195	0,144	--
Desejável p/ Animais	0,156	0,101	0,074	0,133	0,241	0,439	0,336	--
<b>Conforto</b>	6	3	6	5	2	9	5	--
Desejável p/ Pessoas	0,500	0,000	0,500	0,250	0,000	1,000	0,250	--
Desejável p/ Ambiente	1,000	0,500	1,000	1,000	0,250	0,750	1,000	--
<b>Segurança</b>	5	1	2	4	8	5	4	--
Desejável p/ Crianças	0,429	0,000	0,000	0,286	0,857	0,429	0,286	--
Desejável p/ Adultos	0,5	0,000	0,000	0,000	1,000	0,500	0,000	--
<b>Satisfação</b>	9	6	10	3	10	6	7	--
Desejável p/ Ribeirinhos	1,000	0,667	1,000	0,167	1,000	0,667	0,833	--
Desejável p/ Urbanos	0,833	0,333	1,000	0,000	1,000	0,333	0,500	--

Tabela 11: Valores dos indicadores (lógica clássica e difusa) disponíveis para os cenários.

### 5.6.1 Experimento 1

Neste experimento iniciamos priorizando os *Aspectos Socioeconômicos* (peso 100), mais precisamente, o dobro da importância dos *Aspectos Biológicos* (peso 50) e cinco vezes a importância dos *Aspectos Físicos* (peso 20). Dentro dos *Aspectos Biológicos*, deu-se mais importância à *Ictiofauna* (peso 100), em detrimento dos *Bentos* (peso 50). Dentro dos *Aspectos Socioeconômicos*, a *Sociologia* foi muito mais priorizada (peso 100) do que a *Economia* (peso 20). Nos *Aspectos Físicos*, a *Hidráulica* teve menor prioridade (peso 40) que a *Hidrologia* (peso 100). A Figura 42 mostra a árvore de decisão, ponderada para este experimento, a Tabela 12 mostra a configuração deste esquema de prioridades e a Figura 43 mostra esta árvore de decisão configurada no SAM.

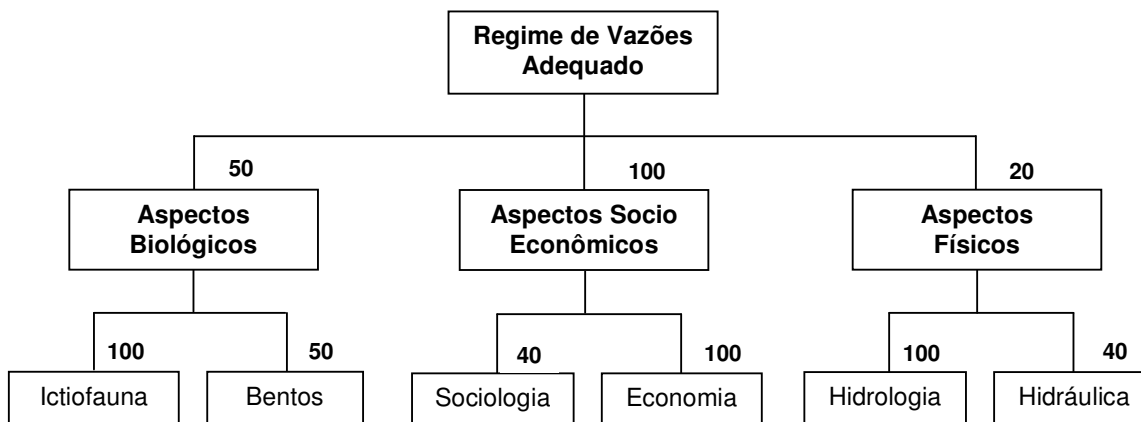


Figura 42: Árvore de decisão, ponderada para o experimento 1.

Critério	Critério Pai	Indicador	Variável Fuzzy	Peso	Max
Aspectos Biológicos	Objetivo da Decisão	-----	-----	50	X
Aspectos Socio-Econômicos	Objetivo da Decisão	-----	-----	100	X
Aspectos Físicos	Objetivo da Decisão	-----	-----	20	X
Ictiofauna	Aspectos Biológicos	Vazão Máxima	Desej. p/ Peixes	100	X
Bentos	Aspectos Biológicos	Vazão Média	Desej. p/ Sapos	50	X
Sociologia	Aspectos Socio-Econômicos	Satisfação	Desej. p/ Ribeirinhos	40	X
Economia	Aspectos Socio-Econômicos	AtendMédioDemanda	Desej. p/ Indústria	100	X
Hidrologia	Aspectos Físicos	AtendTotalDemanda	Desej. p/ Pessoas	100	X
Hidráulica	Aspectos Físicos	Vazão Mínima	Desej. p/ Lagartos	40	X

Tabela 12: Dados do ponderamento da árvore de decisão para o experimento 1.

Critérios e Sub-Critérios							
IdCrit	Nome do Critério	Importância Relativa	Id	Critério Pai	Indicador Associado	Maxim Indic	IndicEspecifico Difuso
1	Regime Ecol. Mais Adequado				----- Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Aspectos Biológicos	Grande	1	Regime Ecol. Mais Adequado	----- Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Aspectos Socio-Econômicos	Alta	1	Regime Ecol. Mais Adequado	----- Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Aspectos Físicos	Pequena	1	Regime Ecol. Mais Adequado	----- Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Ictiofauna	Alta	2	Aspectos Biológicos	Vazão Máxima	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Peixes
6	Bentos	Grande	2	Aspectos Biológicos	Vazão Média	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Sapos
7	Sociologia	Relevante	3	Aspectos Socio-Econômicos	Satisfação	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Ribeirinhos
8	Economia	Alta	3	Aspectos Socio-Econômicos	AtendMedioDemanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Indústria
9	Hidrologia	Alta	4	Aspectos Físicos	AtendTotalDemanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Pessoas
10	Hidráulica	Grande	4	Aspectos Físicos	Vazão Mínima	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Lagartos
			0			<input type="checkbox"/>	

Obs do Critério:

Teoria da Análise Multicriterial

Registro: 11 de 11

Figura 43: Janela mostrando o esquema de critérios e prioridades do experimento 1 no SAM.

Após o SAM ter processado a análise desta configuração de parâmetros, o resultado é apresentado em forma numérica, como mostrado na Figura 44 e em forma gráfica na Figura 45, lembrando que a classificação do método CP é feita do menor valor para o maior e a barra menor do gráfico é a melhor alternativa.

Comparação de Resultados da Aplicação das Metodologias sob Lógica Clássica e Difusa																																			
Lógica Clássica		Lógica Fuzzy																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>170</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>127,758</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>100,896</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>54,805</td></tr> <tr><td>5. Simulada 3</td><td>23,553</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>13,909</td></tr> <tr><td>7. Ecovazão Ano Seco</td><td>12,533</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	170	2. Vazões Naturais Médias	127,758	3. Ecovazão Ano Normal	100,896	4. Simulada 1	54,805	5. Simulada 3	23,553	6. Simulada 2	13,909	7. Ecovazão Ano Seco	12,533	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Vazões Naturais Médias</td><td>141,649</td></tr> <tr><td>2. Ecovazão Ano Úmido</td><td>137,63</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>122,532</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>54,417</td></tr> <tr><td>5. Simulada 3</td><td>39,488</td></tr> <tr><td>6. Ecovazão Ano Seco</td><td>26,531</td></tr> <tr><td>7. Simulada 2</td><td>14,114</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Vazões Naturais Médias	141,649	2. Ecovazão Ano Úmido	137,63	3. Ecovazão Ano Normal	122,532	4. Simulada 1	54,417	5. Simulada 3	39,488	6. Ecovazão Ano Seco	26,531	7. Simulada 2	14,114
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	170																																		
2. Vazões Naturais Médias	127,758																																		
3. Ecovazão Ano Normal	100,896																																		
4. Simulada 1	54,805																																		
5. Simulada 3	23,553																																		
6. Simulada 2	13,909																																		
7. Ecovazão Ano Seco	12,533																																		
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Vazões Naturais Médias	141,649																																		
2. Ecovazão Ano Úmido	137,63																																		
3. Ecovazão Ano Normal	122,532																																		
4. Simulada 1	54,417																																		
5. Simulada 3	39,488																																		
6. Ecovazão Ano Seco	26,531																																		
7. Simulada 2	14,114																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>171,21</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>145,128</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>123,231</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>90,19</td></tr> <tr><td>5. Ecovazão Ano Seco</td><td>71,314</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>67,538</td></tr> <tr><td>7. Simulada 3</td><td>64,196</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	171,21	2. Vazões Naturais Médias	145,128	3. Ecovazão Ano Normal	123,231	4. Simulada 1	90,19	5. Ecovazão Ano Seco	71,314	6. Simulada 2	67,538	7. Simulada 3	64,196	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>0,646</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>0,623</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>0,536</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>0,356</td></tr> <tr><td>5. Ecovazão Ano Seco</td><td>0,243</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>0,217</td></tr> <tr><td>7. Simulada 3</td><td>0,163</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	0,646	2. Vazões Naturais Médias	0,623	3. Ecovazão Ano Normal	0,536	4. Simulada 1	0,356	5. Ecovazão Ano Seco	0,243	6. Simulada 2	0,217	7. Simulada 3	0,163
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	171,21																																		
2. Vazões Naturais Médias	145,128																																		
3. Ecovazão Ano Normal	123,231																																		
4. Simulada 1	90,19																																		
5. Ecovazão Ano Seco	71,314																																		
6. Simulada 2	67,538																																		
7. Simulada 3	64,196																																		
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	0,646																																		
2. Vazões Naturais Médias	0,623																																		
3. Ecovazão Ano Normal	0,536																																		
4. Simulada 1	0,356																																		
5. Ecovazão Ano Seco	0,243																																		
6. Simulada 2	0,217																																		
7. Simulada 3	0,163																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>0</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>33,969</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>57,272</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>84,623</td></tr> <tr><td>5. Simulada 3</td><td>90,002</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>109,92</td></tr> <tr><td>7. Ecovazão Ano Seco</td><td>110,081</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	0	2. Vazões Naturais Médias	33,969	3. Ecovazão Ano Normal	57,272	4. Simulada 1	84,623	5. Simulada 3	90,002	6. Simulada 2	109,92	7. Ecovazão Ano Seco	110,081	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>25,459</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>28,619</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>50,274</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>84,822</td></tr> <tr><td>5. Simulada 3</td><td>85,606</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>104,52</td></tr> <tr><td>7. Ecovazão Ano Seco</td><td>108,71</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	25,459	2. Vazões Naturais Médias	28,619	3. Ecovazão Ano Normal	50,274	4. Simulada 1	84,822	5. Simulada 3	85,606	6. Simulada 2	104,52	7. Ecovazão Ano Seco	108,71
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	0																																		
2. Vazões Naturais Médias	33,969																																		
3. Ecovazão Ano Normal	57,272																																		
4. Simulada 1	84,623																																		
5. Simulada 3	90,002																																		
6. Simulada 2	109,92																																		
7. Ecovazão Ano Seco	110,081																																		
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	25,459																																		
2. Vazões Naturais Médias	28,619																																		
3. Ecovazão Ano Normal	50,274																																		
4. Simulada 1	84,822																																		
5. Simulada 3	85,606																																		
6. Simulada 2	104,52																																		
7. Ecovazão Ano Seco	108,71																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>1</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>0,77</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>0,48</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>0,214</td></tr> <tr><td>5. Simulada 3</td><td>0,112</td></tr> <tr><td>6. Ecovazão Ano Seco</td><td>0,084</td></tr> <tr><td>7. Simulada 2</td><td>0,051</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	1	2. Vazões Naturais Médias	0,77	3. Ecovazão Ano Normal	0,48	4. Simulada 1	0,214	5. Simulada 3	0,112	6. Ecovazão Ano Seco	0,084	7. Simulada 2	0,051	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>0,878</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>0,757</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>0,49</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>0,184</td></tr> <tr><td>5. Ecovazão Ano Seco</td><td>0,098</td></tr> <tr><td>6. Simulada 3</td><td>0,061</td></tr> <tr><td>7. Simulada 2</td><td>0,003</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	0,878	2. Vazões Naturais Médias	0,757	3. Ecovazão Ano Normal	0,49	4. Simulada 1	0,184	5. Ecovazão Ano Seco	0,098	6. Simulada 3	0,061	7. Simulada 2	0,003
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	1																																		
2. Vazões Naturais Médias	0,77																																		
3. Ecovazão Ano Normal	0,48																																		
4. Simulada 1	0,214																																		
5. Simulada 3	0,112																																		
6. Ecovazão Ano Seco	0,084																																		
7. Simulada 2	0,051																																		
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	0,878																																		
2. Vazões Naturais Médias	0,757																																		
3. Ecovazão Ano Normal	0,49																																		
4. Simulada 1	0,184																																		
5. Ecovazão Ano Seco	0,098																																		
6. Simulada 3	0,061																																		
7. Simulada 2	0,003																																		

Gráficos

Critérios e Subcritérios

Teoria dos Métodos

Figura 44: Tela de resultados numéricos do experimento 1.

Os resultados deste experimento (Figura 44) mostram que o cenário *Ecovazão Ano Úmido* foi o primeiro em todos os métodos clássicos, mas nos métodos difusos, ele só conseguiu ser primeiro em três dos métodos. O cenário *Vazões Naturais Médias* ficou em segundo em todos os métodos clássicos, enquanto que, nos métodos difusos, ele foi primeiro no método SAW e segundo nos outros métodos. As terceiras e quartas posições se mantiveram iguais nos quatro métodos, tanto clássicos quanto difusos. Na última posição, para os métodos clássicos, houve variação de colocação dos cenários, com predominância do cenário *Ecovazão Ano Seco*, enquanto nos métodos difusos, também houve variação dos cenários, mas desta vez predominou o cenário *Simulada 2*.

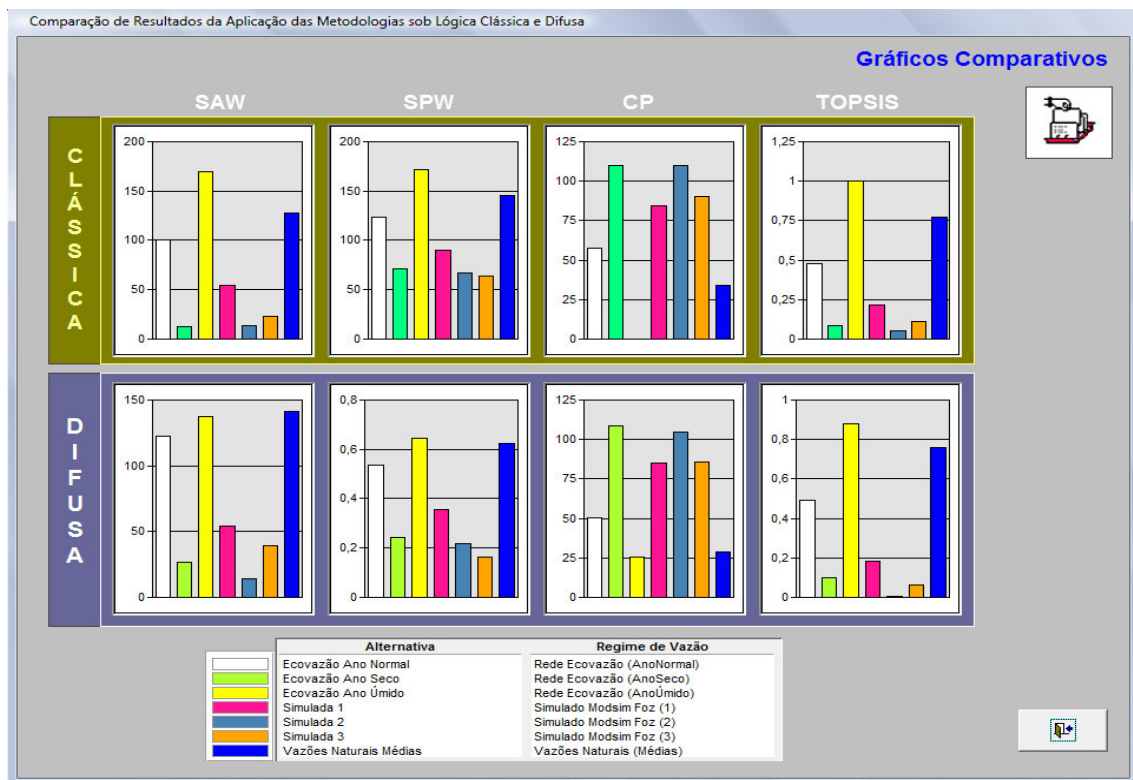


Figura 45: Tela de resultados gráficos do experimento 1.

A apresentação gráfica deste experimento mostrou que, em relação aos primeiros colocados, o cenário *Ecovazão Ano Úmido* ganhou em todos os métodos clássicos (método CP tem pontuação invertida no modo clássico e difuso), mas ganhou apenas em três dos métodos difusos. Isto aconteceu porque o indicador *AtendMédioDemanda* (associado ao critério *Economia*, o qual teve o maior peso neste experimento) do cenário *Ecovazão Ano Úmido* foi o maior entre todos os cenários, mas com relação aos métodos difusos, a variável difusa *Desejável p/ Indústria*, que fuzzifica o valor do indicador *AtendMédioDemanda*, aproximou a pontuação do cenário *Ecovazão Ano Úmido* do cenário *Vazões Naturais Médias*, que o superou e ficou em primeiro no método SAW difuso.

De maneira semelhante, o cenário *Vazões Naturais Médias*, que foi classificado apenas com o segundo lugar em todos os métodos sob lógica clássica, nos métodos sob lógica difusa ele conseguiu uma primeira posição (método SAW), além das três outras segundas posições. Isto aconteceu porque o critério *Ictiofauna* foi configurado com um peso alto e o indicador escolhido para este critério, *Vazão Máxima*, gerou um valor alto para o cenário *Vazões Naturais Médias*, próximo do cenário que gerou o maior valor para este indicador, o cenário *Ecovazão Ano Úmido*. Já na análise sob lógica difusa, a variável difusa *Desejável p/ Peixes* conferiu ao indicador *Vazões Máximas*, do cenário *Vazões Naturais Médias*, um valor maior que o obtido pelo cenário *Ecovazão Ano Úmido*, mas menor que o valor obtido pelo cenário *Ecovazão Ano Normal*, cujo valor da variável difusa *Desejável p/ Peixes* obteve o maior valor, indicando que o valor (em lógica clássica) gerado por este indicador, deste cenário, satisfaz melhor à condição ambiental (desejável para os peixes) estabelecida pelo especialista, do que os outros cenários

## 5.6.2 Experimento 2

Neste experimento, foi priorizado o critério *Aspectos Biológicos* (peso 100) no dobro da importância dos *Aspectos SocioEconômicos* (peso 50) e dos *Aspectos Físicos* (peso 50). Dentro dos *Aspectos Biológicos*, continuou-se dando mais importância à *Ictiofauna* (peso 50), mas diminuiu-se a diferença em relação aos *Bentos* (peso 40). Dentro dos *Aspectos SocioEconômicos*, a *Sociologia* (peso 40) foi muito menos priorizada do que a *Economia* (peso 500). No caso dos *Aspectos Físicos*, a *Hidrologia* será menos priorizada (peso 20) que a *Hidráulica* (peso 50). A Figura 46 mostra a árvore de decisão, ponderada para este experimento, a Tabela 13 mostra este esquema de prioridades e a Figura 46 mostra a configuração deste esquema feito no SAM.

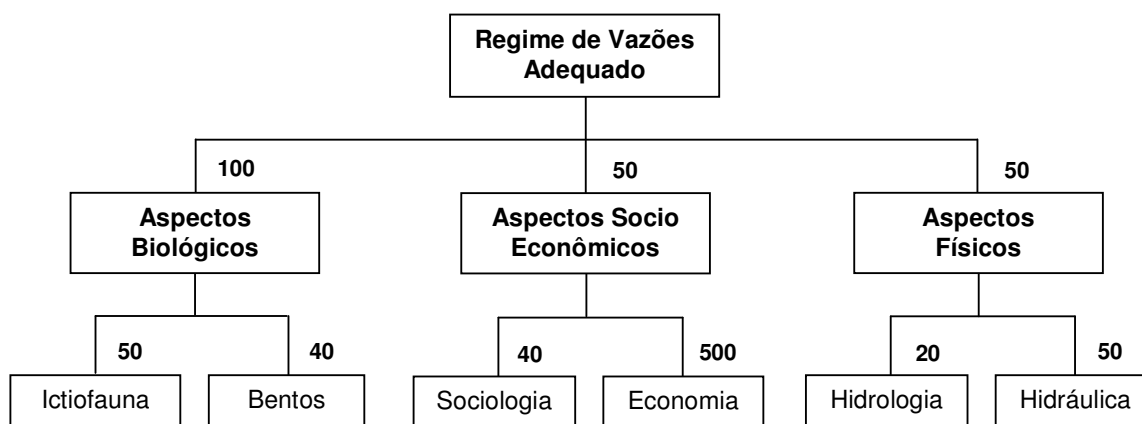


Figura 46: Árvore de decisão, ponderada para o experimento 2.

Critério	Critério Pai	Indicador	Variável Fuzzy	Peso	Max
Aspectos Biológicos	Objetivo da Decisão	-----	-----	100	X
Aspectos Sócio-Econômicos	Objetivo da Decisão	-----	-----	50	X
Aspectos Físicos	Objetivo da Decisão	-----	-----	50	X
Ictiofauna	Aspectos Biológicos	Vazão Máxima	Desej. p/ Peixes	50	X
Bentos	Aspectos Biológicos	Vazão Média	Desej. p/ Sapos	40	X
Sociologia	Aspectos Socio-Econômicos	Satisfação	Desej. p/ Ribeirinhos	40	X
Economia	Aspectos Socio-Econômicos	AtendMédioDemanda	Desej. p/ Indústria	500	X
Hidrologia	Aspectos Físicos	AtendTotalDemanda	Desej. p/ Pessoas	20	X
Hidráulica	Aspectos Físicos	Vazão Mínima	Desej. p/ Lagartos	50	X

Tabela 13: Árvore de Decisão ponderada para o experimento 2.

Critérios e Sub-Critérios						
IdCrit	Nome do Critério	Importância Relativa	Id	Critério Pai	Indicador Associado	Maxim Indic
1	Regime Ecol. Mais Adequado				..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Aspectos Biológicos	Alta	1	Regime Ecol. Mais Adequado	..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Aspectos Socio-Econômicos	Grande	1	Regime Ecol. Mais Adequado	..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Aspectos Físicos	Grande	1	Regime Ecol. Mais Adequado	..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Ictiofauna	Grande	2	Aspectos Biológicos	Vazão Máxima	<input checked="" type="checkbox"/> Desejável p/ Peixes
6	Bentos	Relevante	2	Aspectos Biológicos	Vazão Média	<input checked="" type="checkbox"/> Desejável p/ Sapos
7	Sociologia	Relevante	3	Aspectos Socio-Econômicos	Satisfação	<input checked="" type="checkbox"/> Desejável p/ Ribeirinhos
8	Economia	Altíssima	3	Aspectos Socio-Econômicos	AtendMedioDemande	<input checked="" type="checkbox"/> Desejável p/ Indústria
9	Hidrologia	Pequena	4	Aspectos Físicos	AtendTotalDemanda	<input checked="" type="checkbox"/> Desejável p/ Pessoas
10	Hidráulica	Grande	4	Aspectos Físicos	Vazão Mínima	<input checked="" type="checkbox"/> Desejável p/ Lagartos
*			0			<input type="checkbox"/>

Obs do Critério: Objetivo da Decisão, precisa ser definido como critério número 1.

Teoria da Análise Multicriterial

Sair

Registro: 14 de 10

Figura 47: Esquema de critérios e prioridades do experimento 2 no SAM.

Após o processamento da árvore de decisão pelo SAM, o resultado é apresentado em forma numérica (Figura 48) e forma gráfica (Figura 49). Vale lembrar que a classificação dos resultados do método CP é feita do em ordem decrescente e na representação gráfica, a menor barra é a melhor.

Comparação de Resultados da Aplicação das Metodologias sob Lógica Clássica e Difusa																																			
Lógica Clássica		Lógica Fuzzy																																	
<p><b>Regime de Vazão</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>200</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>140,573</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>101,587</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>58,818</td></tr> <tr><td>5. Ecovazão Ano Seco</td><td>39,317</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>28,261</td></tr> <tr><td>7. Simulada 3</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	200	2. Vazões Naturais Médias	140,573	3. Ecovazão Ano Normal	101,587	4. Simulada 1	58,818	5. Ecovazão Ano Seco	39,317	6. Simulada 2	28,261	7. Simulada 3	0	<p><b>Regime de Vazão</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Vazões Naturais Médias</td><td>137,12</td></tr> <tr><td>2. Ecovazão Ano Normal</td><td>130,966</td></tr> <tr><td>3. Simulada 3</td><td>79,982</td></tr> <tr><td>4. Ecovazão Ano Seco</td><td>73,448</td></tr> <tr><td>5. Ecovazão Ano Úmido</td><td>62,282</td></tr> <tr><td>6. Simulada 1</td><td>28,563</td></tr> <tr><td>7. Simulada 2</td><td>10,434</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Vazões Naturais Médias	137,12	2. Ecovazão Ano Normal	130,966	3. Simulada 3	79,982	4. Ecovazão Ano Seco	73,448	5. Ecovazão Ano Úmido	62,282	6. Simulada 1	28,563	7. Simulada 2	10,434
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	200																																		
2. Vazões Naturais Médias	140,573																																		
3. Ecovazão Ano Normal	101,587																																		
4. Simulada 1	58,818																																		
5. Ecovazão Ano Seco	39,317																																		
6. Simulada 2	28,261																																		
7. Simulada 3	0																																		
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Vazões Naturais Médias	137,12																																		
2. Ecovazão Ano Normal	130,966																																		
3. Simulada 3	79,982																																		
4. Ecovazão Ano Seco	73,448																																		
5. Ecovazão Ano Úmido	62,282																																		
6. Simulada 1	28,563																																		
7. Simulada 2	10,434																																		
<p><b>Regime de Vazão</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>984,066</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>771,029</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>632,221</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>462,252</td></tr> <tr><td>5. Ecovazão Ano Seco</td><td>414,495</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>357,289</td></tr> <tr><td>7. Simulada 3</td><td>260,018</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	984,066	2. Vazões Naturais Médias	771,029	3. Ecovazão Ano Normal	632,221	4. Simulada 1	462,252	5. Ecovazão Ano Seco	414,495	6. Simulada 2	357,289	7. Simulada 3	260,018	<p><b>Regime de Vazão</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Vazões Naturais Médias</td><td>0,638</td></tr> <tr><td>2. Ecovazão Ano Úmido</td><td>0,593</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>0,59</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>0,428</td></tr> <tr><td>5. Ecovazão Ano Seco</td><td>0,416</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>7. Simulada 3</td><td>0,279</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Vazões Naturais Médias	0,638	2. Ecovazão Ano Úmido	0,593	3. Ecovazão Ano Normal	0,59	4. Simulada 1	0,428	5. Ecovazão Ano Seco	0,416	6. Simulada 2	0,32	7. Simulada 3	0,279
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	984,066																																		
2. Vazões Naturais Médias	771,029																																		
3. Ecovazão Ano Normal	632,221																																		
4. Simulada 1	462,252																																		
5. Ecovazão Ano Seco	414,495																																		
6. Simulada 2	357,289																																		
7. Simulada 3	260,018																																		
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Vazões Naturais Médias	0,638																																		
2. Ecovazão Ano Úmido	0,593																																		
3. Ecovazão Ano Normal	0,59																																		
4. Simulada 1	0,428																																		
5. Ecovazão Ano Seco	0,416																																		
6. Simulada 2	0,32																																		
7. Simulada 3	0,279																																		
<p><b>Regime de Vazão</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>0</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>36,606</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>66,568</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>95,08</td></tr> <tr><td>5. Ecovazão Ano Seco</td><td>101,062</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>110,22</td></tr> <tr><td>7. Simulada 3</td><td>122,474</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	0	2. Vazões Naturais Médias	36,606	3. Ecovazão Ano Normal	66,568	4. Simulada 1	95,08	5. Ecovazão Ano Seco	101,062	6. Simulada 2	110,22	7. Simulada 3	122,474	<p><b>Regime de Vazão</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Vazões Naturais Médias</td><td>38,891</td></tr> <tr><td>2. Ecovazão Ano Normal</td><td>54,36</td></tr> <tr><td>3. Simulada 3</td><td>78,941</td></tr> <tr><td>4. Ecovazão Ano Úmido</td><td>86,955</td></tr> <tr><td>5. Ecovazão Ano Seco</td><td>89,509</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>105,089</td></tr> <tr><td>7. Simulada 1</td><td>119,25</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Vazões Naturais Médias	38,891	2. Ecovazão Ano Normal	54,36	3. Simulada 3	78,941	4. Ecovazão Ano Úmido	86,955	5. Ecovazão Ano Seco	89,509	6. Simulada 2	105,089	7. Simulada 1	119,25
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	0																																		
2. Vazões Naturais Médias	36,606																																		
3. Ecovazão Ano Normal	66,568																																		
4. Simulada 1	95,08																																		
5. Ecovazão Ano Seco	101,062																																		
6. Simulada 2	110,22																																		
7. Simulada 3	122,474																																		
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Vazões Naturais Médias	38,891																																		
2. Ecovazão Ano Normal	54,36																																		
3. Simulada 3	78,941																																		
4. Ecovazão Ano Úmido	86,955																																		
5. Ecovazão Ano Seco	89,509																																		
6. Simulada 2	105,089																																		
7. Simulada 1	119,25																																		
<p><b>Regime de Vazão</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Ecovazão Ano Úmido</td><td>1</td></tr> <tr><td>2. Vazões Naturais Médias</td><td>0,712</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>0,452</td></tr> <tr><td>4. Simulada 1</td><td>0,254</td></tr> <tr><td>5. Ecovazão Ano Seco</td><td>0,192</td></tr> <tr><td>6. Simulada 2</td><td>0,171</td></tr> <tr><td>7. Simulada 3</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Ecovazão Ano Úmido	1	2. Vazões Naturais Médias	0,712	3. Ecovazão Ano Normal	0,452	4. Simulada 1	0,254	5. Ecovazão Ano Seco	0,192	6. Simulada 2	0,171	7. Simulada 3	0	<p><b>Regime de Vazão</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Regime de Vazão</th> <th>Pontuação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1. Vazões Naturais Médias</td><td>0,762</td></tr> <tr><td>2. Ecovazão Ano Úmido</td><td>0,699</td></tr> <tr><td>3. Ecovazão Ano Normal</td><td>0,57</td></tr> <tr><td>4. Ecovazão Ano Seco</td><td>0,223</td></tr> <tr><td>5. Simulada 1</td><td>0,162</td></tr> <tr><td>6. Simulada 3</td><td>0,14</td></tr> <tr><td>7. Simulada 2</td><td>0,027</td></tr> </tbody> </table>		Regime de Vazão	Pontuação	1. Vazões Naturais Médias	0,762	2. Ecovazão Ano Úmido	0,699	3. Ecovazão Ano Normal	0,57	4. Ecovazão Ano Seco	0,223	5. Simulada 1	0,162	6. Simulada 3	0,14	7. Simulada 2	0,027
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Ecovazão Ano Úmido	1																																		
2. Vazões Naturais Médias	0,712																																		
3. Ecovazão Ano Normal	0,452																																		
4. Simulada 1	0,254																																		
5. Ecovazão Ano Seco	0,192																																		
6. Simulada 2	0,171																																		
7. Simulada 3	0																																		
Regime de Vazão	Pontuação																																		
1. Vazões Naturais Médias	0,762																																		
2. Ecovazão Ano Úmido	0,699																																		
3. Ecovazão Ano Normal	0,57																																		
4. Ecovazão Ano Seco	0,223																																		
5. Simulada 1	0,162																																		
6. Simulada 3	0,14																																		
7. Simulada 2	0,027																																		

Gráficos

Executar Avaliação dos Métodos

Critérios e Subcritérios

Indicadores da Alternativa

Teoria dos Métodos

Figura 48: Resultados numéricos do experimento 2.

Analisando os resultados da aplicação dos métodos, com a segunda configuração de prioridades (ponderação), podem-se perceber detalhes interessantes. Nos resultados da abordagem clássica, o cenário *Ecovazão Ano Úmido* e o cenário *Vazões Naturais Médias* se mantiveram nas primeiras e segundas posições, respectivamente, em todos os métodos. Já na abordagem difusa, vê-se o cenário *Ecovazão Ano Úmido* superado em todos os métodos, conseguindo apenas duas segundas, uma quarta e uma quinta posições. Já o cenário *Vazões Naturais Médias* conseguiu todas as primeiras posições, na abordagem difusa.

No caso do cenário *Ecovazão Ano Normal*, observa-se que ele ficou sempre em terceiro lugar na abordagem clássica, mas na abordagem difusa ele melhorou sua classificação geral, ficando em segundo lugar nos métodos SAW e CP, sendo superado com pequena diferença pelo cenário *Hipotético Ano Úmido* nos outros dois métodos difusos.

Um fato também relevante pode ser visto nos resultados do cenário *Simulada 3*, que foi classificado na última posição em todos os métodos clássicos, sendo inclusive “zerado” pelos métodos SAW e TOPSIS, mas na abordagem difusa ele conseguiu ser classificado em duas terceiras posições, sendo último apenas no método SPW difuso.

Em situação inversa, em relação ao tratamento dado pela abordagem difusa, está o cenário *Simulada 1*, que nos métodos clássicos ficou sempre na quarta posição. Nos métodos difusos ele foi rebaixado, ficando em quinto, sexto e último lugares, mantendo-se na quarta posição apenas no método SPW difuso.



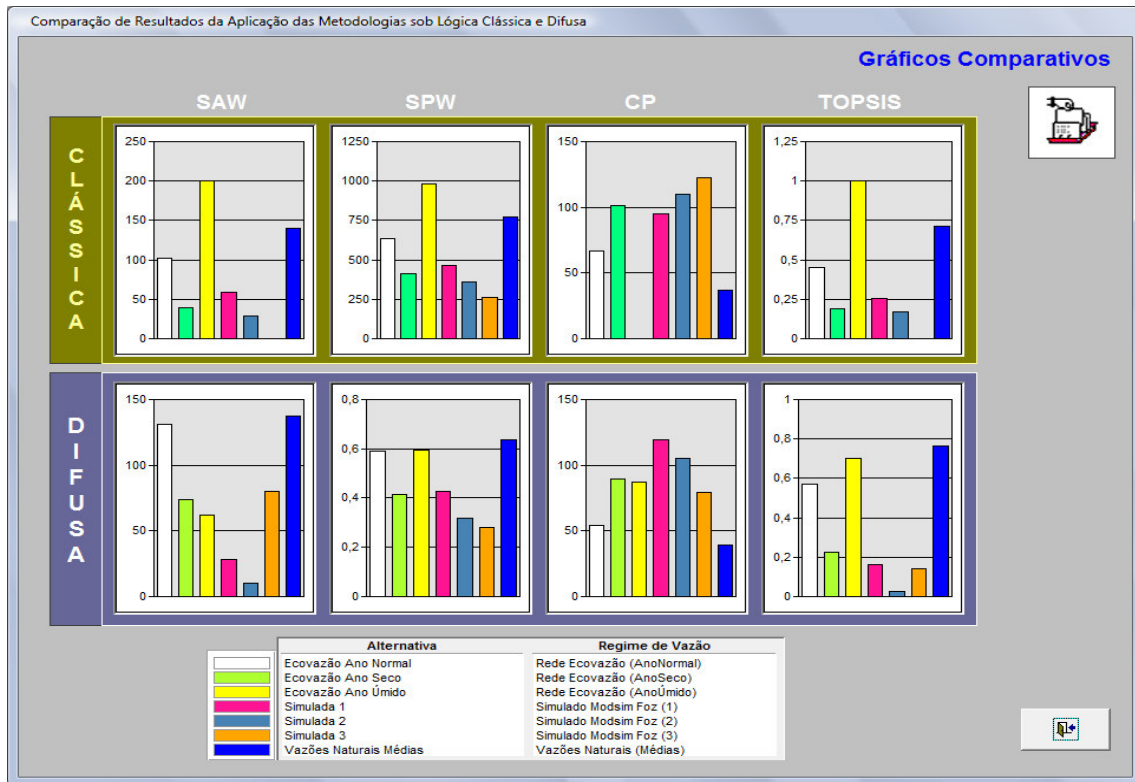


Figura 49: Tela de resultados gráficos do experimento 2.

Na tela de resultados gráficos (Figura 49), a diferença entre os resultados das análises multicriteriais, nas abordagens clássica e difusa, se torna mais clara. A perda de posições do cenário *Ecovazão Ano Úmido*, da abordagem clássica para a difusa, se deve ao fato de seu indicador *Vazão Máxima* (escolhido para avaliar o critério *Ictiofauna*, subcritério do critério *Aspectos Biológicos*) ter gerado um valor muito alto, em relação a todos os outros cenários. Já na abordagem difusa, sua variável difusa *Desejável p/ Peixes* (escolhida para fuzzificar o subcritério *Ictiofauna*) foi menos valorada que a dos cenários *Ecovazão Ano Normal* e *Vazões Naturais Médias*. Como o sub-critério *Ictiofauna* recebeu maior prioridade (peso) que o outro sub-critério do critério *Aspectos Biológicos*, que por sua vez, recebeu maior prioridade que os *Aspectos SocioEconômicos* e os *Aspectos Físicos*, então o resultado geral do cenário *Ecovazão Ano Úmido* foi diminuído.

O cenário *Simulada 3*, que nas análises clássicas ficou em última posição em todos os métodos, só obtendo uma pontuação relevante no método SPW, obteve este péssimo resultado geral também por conta de seu indicador *Vazão Máxima*, que só foi melhor que o indicador *Vazão Máxima* do cenário *Simulada 2*. Além disto, seu indicador *AtendMédioDemanda* (escolhido para avaliar o sub-critério *Economia*, que, neste experimento, tem prioridade muito mais alta do que o sub-critério *Sociologia*), foi valorado em última posição. No caso da abordagem difusa, este cenário melhorou sua pontuação geral, conseguindo uma terceira e uma quinta posição, porque sua variável difusa *Desejável p/ Peixes* (associada ao indicador *Vazão Máxima*) gerou um valor próximo de quatro outros cenários e, apesar de sua variável difusa *Desejável p/ a Indústria* (associada ao indicador *AtendMédioDemanda*, escolhido para avaliar o critério *Economia*) ter sido a que gerou o menor valor, sua variável difusa *Desejável p/ Lagartos* (associada ao indicador *Vazão Mínima*, escolhido para avaliar o subcritério *Hidráulica*) foi a que gerou o maior valor de todos os cenários.

No caso do cenário *Simulada 1*, que ficou sempre na quarta posição nos métodos clássicos, ocorreu uma situação contrária à do cenário *Simulada 3*. Sua classificação geral, na análise clássica, se manteve na posição média porque seus indicadores *Vazão Máxima* e *AtendMédioDemanda* também se mantiveram na média dos valores alcançados pelos outros cenários. Já na abordagem difusa, este cenário foi prejudicado porque sua variável difusa *Desejável p/ Lagartos* lhe conferiu um valor apenas um pouco acima do último e sua variável *Desejável p/ Peixes* gerou um valor apenas duas posições acima do menor valor, entre todos os cenários.

### 5.6.3 Experimento 3

Neste experimento, nenhum dos critérios principais foi priorizado em relação aos outros, isto é, seus pesos foram definidos com um mesmo valor. Escolheu-se então assim: critério *Aspectos Biológicos* (peso 100), critério *Aspectos SocioEconômicos* (peso 100) e critério *Aspectos Físicos* (peso 100). Dentro dos *Aspectos Biológicos*, manteve-se a igualdade de prioridades, com *Ictiofauna* (peso 50) e *Bentos* (peso 50). Dentro dos *Aspectos SocioEconômicos*, a mesma igualdade, *Sociologia* (peso 50) e *Economia* (peso 50). Nos *Aspectos Físicos*, repetiu-se o esquema dos outros, *Hidrologia* (peso 50) e *Hidráulica* (peso 50). A Figura 50 mostra a árvore de decisão, a Tabela 14 mostra os valores de critérios e indicadores e a Figura 51 mostra a configuração deste esquema de prioridades feito no SAM.

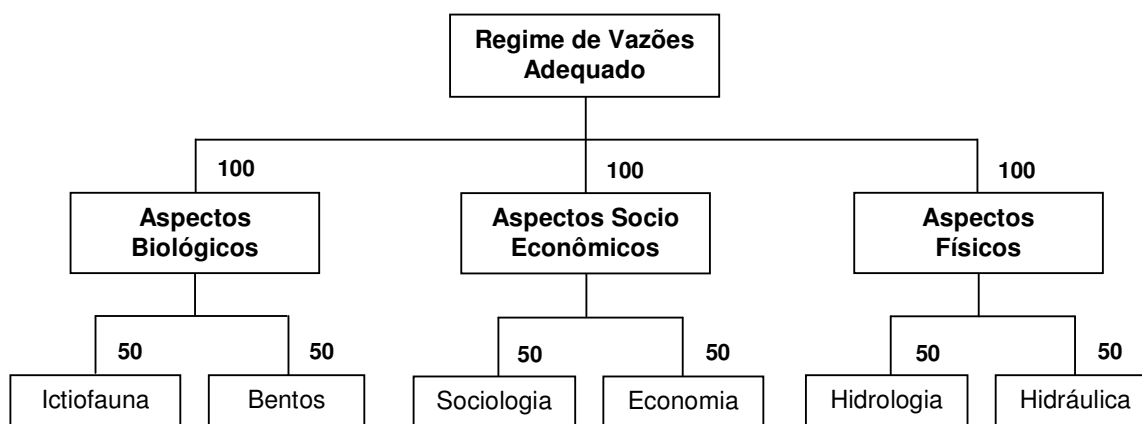


Figura 50: Árvore de decisão, ponderada para o experimento 3.

Critério	Critério Pai	Indicador	Variável Fuzzy	Peso	Max
Aspectos Biológicos	Objetivo da Decisão	-----	-----	100	X
Aspectos Sócio-Econômicos	Objetivo da Decisão	-----	-----	100	X
Aspectos Físicos	Objetivo da Decisão	-----	-----	100	X
Ictiofauna	Aspectos Biológicos	Vazão Máxima	Desej. p/ Peixes	50	X
Bentos	Aspectos Biológicos	Vazão Média	Desej. p/ Sapos	50	X
Sociologia	Aspectos Socio-Econômicos	Satisfação	Desej. p/ Ribeirinhos	50	X
Economia	Aspectos Socio-Econômicos	AtendMédioDemanda	Desej. p/ Indústria	50	X
Hidrologia	Aspectos Físicos	AtendTotalDemanda	Desej. p/ Pessoas	50	X
Hidráulica	Aspectos Físicos	Vazão Mínima	Desej. p/ Lagartos	50	X

Tabela 14: Árvore de Decisão ponderada para o experimento 3.

IdCrit	Nome do Critério	Importância Relativa	Id	Critério Pai	Indicador Associado	Maxim Indic	IndicEspecíficos Difusos
1	Regime Ecol. Mais Adequado				..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Aspectos Biológicos	Alta	1	Regime Ecol. Mais Adequado	..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Aspectos Socio-Econômicos	Alta	1	Regime Ecol. Mais Adequado	..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Aspectos Físicos	Alta	1	Regime Ecol. Mais Adequado	..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Ictiofauna	Grande	2	Aspectos Biológicos	Vazão Máxima	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Peixes
6	Bentos	Grande	2	Aspectos Biológicos	Vazão Média	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Sapos
7	Sociologia	Grande	3	Aspectos Socio-Econômicos	Satisfação	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Ribeirinhos
8	Economia	Grande	3	Aspectos Socio-Econômicos	AtendMedioDemanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Indústria
9	Hidrologia	Grande	4	Aspectos Físicos	AtendTotalDemanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Pessoas
10	Hidráulica	Grande	4	Aspectos Físicos	Vazão Mínima	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Lagartos
*			0			<input type="checkbox"/>	

Obs do Critério: Objetivo da Decisão, precisa ser definido como critério número 1.

Teoria da Análise Multicriterial

Sair

Registro: 1 de 10

Figura 51: Esquema de critérios e prioridades do experimento 3 no SAM.

Com o novo processamento da árvore de decisão pelo SAM, os resultados são verificados, na sua forma numérica (Figura 52) e na forma gráfica (Figura 53).

Comparação de Resultados da Aplicação das Metodologias sob Lógica Clássica e Difusa

Lógica Clássica		Lógica Fuzzy	
Regime de Vazão	Pontuação	Regime de Vazão	Pontuação
1. Ecovazão Ano Úmido	297,734	1. Vazões Naturais Médias	265,581
2. Vazões Naturais Médias	226,27	2. Ecovazão Ano Normal	226,085
3. Ecovazão Ano Normal	206,116	3. Simulada 3	194,854
4. Simulada 1	139,524	4. Ecovazão Ano Úmido	187,296
5. Simulada 2	65,85	5. Simulada 1	104,686
6. Simulada 3	64,655	6. Ecovazão Ano Seco	99,974
7. Ecovazão Ano Seco	48,318	7. Simulada 2	60,09

Regime de Vazão	Pontuação	Regime de Vazão	Pontuação
1. Ecovazão Ano Úmido	399,204	1. Vazões Naturais Médias	0,56
2. Vazões Naturais Médias	331,409	2. Ecovazão Ano Úmido	0,532
3. Ecovazão Ano Normal	300,092	3. Ecovazão Ano Normal	0,52
4. Simulada 1	231,293	4. Simulada 1	0,396
5. Simulada 2	175,099	5. Ecovazão Ano Seco	0,286
6. Ecovazão Ano Seco	174,997	6. Simulada 2	0,285
7. Simulada 3	138,899	7. Simulada 3	0,253

Regime de Vazão	Pontuação	Regime de Vazão	Pontuação
1. Ecovazão Ano Úmido	1,271	1. Simulada 3	34,589
2. Vazões Naturais Médias	47,302	2. Vazões Naturais Médias	36,295
3. Ecovazão Ano Normal	67,051	3. Ecovazão Ano Normal	71,036
4. Simulada 1	94,362	4. Ecovazão Ano Úmido	100
5. Simulada 2	130,183	5. Simulada 2	121,431
6. Simulada 3	141,822	6. Ecovazão Ano Seco	131,743
7. Ecovazão Ano Seco	145,873	7. Simulada 1	135,123

Regime de Vazão	Pontuação	Regime de Vazão	Pontuação
1. Ecovazão Ano Úmido	1	1. Vazões Naturais Médias	0,805
2. Vazões Naturais Médias	0,726	2. Ecovazão Ano Úmido	0,801
3. Ecovazão Ano Normal	0,558	3. Ecovazão Ano Normal	0,55
4. Simulada 1	0,383	4. Simulada 1	0,284
5. Simulada 2	0,24	5. Simulada 3	0,202
6. Ecovazão Ano Seco	0,222	6. Ecovazão Ano Seco	0,146
7. Simulada 3	0,191	7. Simulada 2	0,11

Gráficos

Executar Avaliação dos Métodos

Critérios e Subcritérios

Indicadores da Alternativa

Teoria dos Métodos

Figura 52: Resultados numéricos do experimento 3.

Com uma configuração de prioridades equitativa para todos os critérios e subcritérios, pode-se observar melhor o comportamento dos indicadores, pois o peso dos indicadores não influencia mais no resultado final, já que todos os critérios e subcritérios têm a mesma importância relativa.

Nos resultados da abordagem clássica, o cenário *Ecovazão Ano Úmido* e o cenário *Vazões Naturais Médias* continuam impreterivelmente a se manter respectivamente nas primeiras e segundas posições, o que denota uma dominância destes cenários, na abordagem clássica. Já nos resultados da abordagem difusa, vê-se o cenário *Ecovazão Ano Úmido* sendo superado por todos os métodos e conseguindo apenas duas segundas e duas quartas posições. No caso do cenário *Vazões Naturais Médias*, ele subiu de colocação geral, alcançando três primeiras e uma segunda colocação, na abordagem que utiliza a lógica difusa.

O caso do cenário *Ecovazão Ano Normal* é interessante, pois se observa que ele foi sempre classificado em terceiro lugar na abordagem clássica e este fato se repetiu nos três experimentos realizados, mas nos dois últimos experimentos da abordagem difusa, ele melhorou sua classificação geral, ficando em segunda posição algumas vezes. Os cenários *Ecovazão Ano Seco* e *Simulada 3* dividiram as últimas posições na abordagem clássica, sendo que *Ecovazão Ano Seco*, que ficou em duas últimas e duas penúltimas posições, obteve na abordagem difusa, pontuação suficiente para se manter, pelo menos em penúltimo, conseguindo ainda uma quinta posição, no método SAW Difuso. Já o cenário *Simulada 3*, que também ficou em duas últimas e duas penúltimas posições na abordagem clássica, conseguiu uma primeira, uma terceira e uma quinta posição, na abordagem difusa.

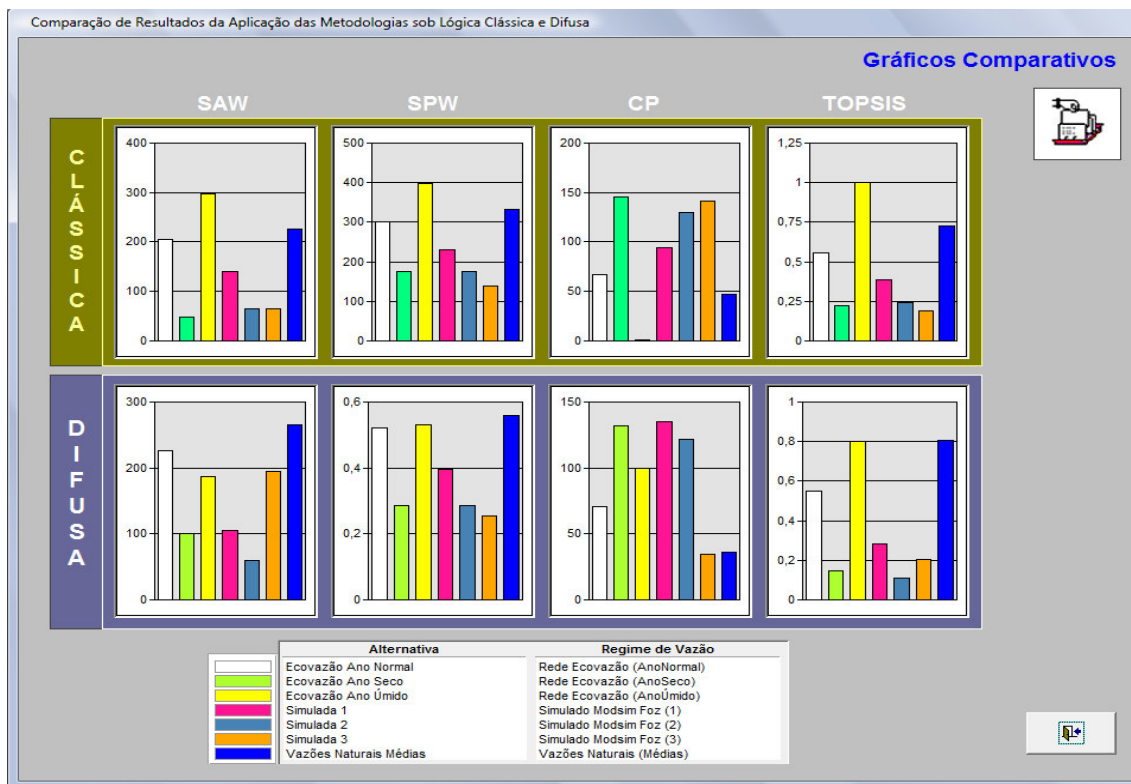


Figura 53: Tela de resultados gráficos do experimento 3.

A tela de representação gráfica dos resultados deste experimento mostra que, com a igualdade de todos os pesos relativos dos critérios e subcritérios, as posições ocupadas pelos cenários *Ecovazão Ano Úmido*, *Vazões Naturais Médias* e *Ecovazão Ano Normal* não mudaram em relação aos outros dois experimentos, na abordagem clássica. Isto aconteceu porque, com exceção do indicador qualitativo *Satisfação*, que foi escolhido para avaliar o subcritério *Sociologia*, todos os indicadores destes três cenários foram maiores do que os dos outros. Isto também se deve ao fato de todos os critérios e subcritérios terem sido definidos com a função objetivo de maximização.

Já na abordagem difusa, os cenários *Ecovazão Ano Úmido* e *Vazões Naturais Médias* inverteram suas posições nos resultados dos métodos SAW Difuso,

SPW Difuso e TOPSIS Difuso, sendo que o cenário *Ecovazão Ano Úmido* foi colocado duas vezes na quarta posição, pelos métodos SAW Difuso e CP Difuso. O cenário *Vazões Naturais Médias*, que foi classificado em primeiro em três dos métodos, quase empatou com o cenário *Simulada 3*, que ficou em primeiro, no resultado do método CP Difuso. Isto se deveu ao fato de que, quase todas as variáveis difusas apresentaram valores melhores para o cenário *Vazões Naturais Médias*, do que para os outros cenários.

Neste experimento observa-se também a diferença entre os resultados do cenário *Simulada 3*, da abordagem clássica para a abordagem difusa. Este cenário ficou entre os últimos na abordagem clássica, mas ganhou uma primeira posição entre os métodos, no método CP Difuso. Isto aconteceu porque todos os indicadores deste cenário apresentaram valores baixos em relação aos outros, fazendo com que os métodos que utilizaram a abordagem clássica o colocassem nas últimas posições. Já na abordagem difusa, esse cenário obteve altos valores para suas variáveis difusas *Desejável p/ Lagartos* (associada ao indicador *Vazão Mínima*), *Desejável p/ Sapos* (associada ao indicador *Vazão Média*) e *Desejável p/ Ribeirinhos* (associada ao indicador *Satisfação*), acarretando boas pontuações nos quatro métodos estudados e uma primeira posição entre estes.

Variações entre a forma de tratamento dos valores, dos indicadores e das variáveis difusas, para os quatro métodos de análise, fazem com que as diferenças entre a importância dos cenários, com relação a um indicador (ou variável difusa), sejam consideradas de maneira diferente e, conseqüentemente, gerem posições diferentes no ranking final das alternativas.

## 5.7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A construção dos modelos ambientais, conceitual, qualitativo e quantitativo, mostrou que o contexto da decisão é um elemento de grande importância na capacidade dos tomadores de decisão (stakeholders) de efetuar uma escolha racional e eficiente. Estes modelos precisam ser definidos com base em informações cientificamente comprovadas para que estes cumpram sua função de orientar o estabelecimento de conseqüentes parâmetros de decisão. Pelo resultado da modelagem, feita sobre um conhecimento estabelecido, pode-se perceber o potencial que tem a modelagem, no contexto da busca de um regime de vazões ecológicas.

A obtenção de informações sobre o ecossistema e a estrutura gerencial que envolve a identificação de um regime de vazões ecológicas para o baixo São Francisco revelou um complexo de situações que estão associadas a aspectos naturais e também a comprometimentos políticos. Os aspectos naturais envolvem a pesquisa científica multidisciplinar, orientada por uma metodologia de avaliação ambiental que, pelas dimensões da área de estudo, deve ser holística. Quanto aos aspectos políticos, os resultados desta pesquisa mostraram que existem critérios de decisão a serem ponderados, de acordo às mais variadas pretensões e conveniências, sendo que se deve estar atento à legislação ambiental, pois ela está cada vez mais, procurando se referenciar no conhecimento científico, conhecimento este que cresceu vertiginosamente nos últimos anos, alavancado pela necessidade de gerenciar melhor os recursos naturais em busca da sustentabilidade.



A partir da análise dos eventos que ocorreram em reuniões plenárias do comitê da bacia do São Francisco, em que o autor participou, pôde-se constatar que o tempo de uma reunião plenária é um espaço de trabalho demasiado curto e concorrido para aplicação imediata dos mecanismos da análise multicriterial convencional, bem como de uma maneira alternativa, como é a abordagem investigada nesta pesquisa. Por conta disso, este trabalho ganhou um caráter de “protótipo”, desenvolvido em laboratório e não diretamente no campo. Um acontecimento que tornou conveniente o momento desta pesquisa foi a colocação do tema “vazão ecológica” em discussão por uma câmara técnica do comitê da bacia e as participações do autor em reuniões e debates da rede de pesquisadores ECOVAZÃO. O desenvolvimento deste tema pela rede ECOVAZÃO e as diversas pesquisas sobre SAD's efetuadas pelo autor, no âmbito do Grupo de Recursos Hídricos da UFBA, entre 2000 e 2010, forneceram uma série de subsídios para os resultados obtidos por este projeto de pesquisa.

As metodologias de análise multicriterial, apesar de serem procedimentos matemáticos relativamente simples, despertam ainda alguma desconfiança e desentendimento por parte dos profissionais de maneira em geral. A criação de um aplicativo, com interface simplificada, possibilita que qualquer técnico possa inserir seus conhecimentos no sistema, para que então, estes conhecimentos possam dirigir um processo de análise multicriterial configurado totalmente pelos decisores, na busca de identificar, com base nos parâmetros científicos, as alternativas mais relevantes e adequadas ao contexto de planejamento definido nas diretrizes de desenvolvimento, em escala local, regional e federal.

O processo de análise multicriterial usado nesta pesquisa contou com alternativas (regimes de vazão) obtidas a partir de uma simplificação da simulação do comportamento hídrico do baixo curso da bacia do rio São Francisco, efetuada no âmbito do projeto AMODOUTOR (2006). Aos cenários de vazões gerados pela adaptação dos procedimentos do projeto AMODOUTOR foram acrescentados três cenários de vazões sugeridas pela rede de pesquisa ECOVAZÃO e mais um cenário de vazões naturais médias, fornecido pelo ONS. Com a utilização de cenários elaborados a partir de filosofias de trabalho diferentes pode-se observar o comportamento da abordagem metodológica escolhida, quando é submetida à análise de cenários distintos, sob lógica clássica e sob lógica difusa. Estes cenários, os procedimentos p/ geração dos indicadores e as preferências dos decisores são informações que serviram como base para a experimentação da análise multicriterial, tanto em sua abordagem clássica, quando difusa.

Os resultados dos experimentos puderam ser mais bem visualizados, quando apresentados em sua forma gráfica, pois em termos comparativos, as escalas de diferenciação entre as pontuações obtidas pelas alternativas se tornam mais claras. A análise destes resultados se baseou na tabela de valores que assumiram os indicadores dos cenários e suas variáveis difusas (Tabela 9). Isto facilitou a análise dos resultados pois permitiu a verificação, com base na lógica da análise multicriterial, das alternativas que deveriam ser melhor pontuadas.

Nos experimentos percebeu-se que, quando só se tem funções lineares para representar o comportamento de uma variável em um eco-sistema, a possibilidade do aparecimento de inconsistências no tratamento da informação é

evidente, já que em um ecossistema, os elementos ativos não respondem a uma única variável nem se comportam de maneira linear. Através da introdução da representação de indicadores por funções de pertinência *Fuzzy*, os pode-se definir melhor o comportamento de uma variável e assim chegar a resultados mais adequados e convincentes. Isto fica claro pelo fato de todos os métodos que utilizaram a lógica clássica terem apresentado, como resultado, os mesmos cenários, colocados nas três primeiras posições em todos os experimentos. Esta repetição de resultados, com diferentes configurações de ponderação da árvore de decisão, não ocorreu na abordagem que utilizou a lógica difusa, onde a variação de ponderação da árvore de decisão gerou resultados coerentemente distintos, para todos os cenários, nos três experimentos.

Examinando os dados, os parâmetros que foram usados nos experimentos e os resultados, é possível observar que, independentemente de qual método de análise multicriterial se esteja utilizando, com a abordagem difusa, os cenários serão mais bem pontuados, com maior distinção entre as possibilidades de resultados, representando melhor a ponderação efetuada e respondendo claramente às condicionantes ambientais definidas, na medida do quanto seus indicadores (usados na análise) estiverem dentro da faixa de valores estabelecidos como “desejáveis” pelos especialistas. Para os cenários, aos quais os indicadores tiveram valores (clássicos) semelhantes, a aplicação da lógica difusa pode criar uma maior diferenciação entre estes valores, pois suas escalas lineares foram influenciadas pela variação de representatividade definida nas funções de pertinência difusas.

## **6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Foi constatado que os sistemas de informação podem auxiliar de maneira fundamental os profissionais da pesquisa acadêmica a entender determinados fenômenos ambientais complexos. Com o uso da modelagem ambiental, de modelos matemáticos e interfaces amigáveis, Sistemas de Apoio à Decisão (SAD's) podem ser utilizados por gestores em suas análises, onde a quantidade de parâmetros envolvidos requer níveis de processamento de informação que demandam o uso de mecanismos computacionais como: esquemas naturais de aquisição, representação e explanação de conhecimento; procedimentos para tratamento de inconsistências e erros, simulação comportamental de eventos, captação remota e contínua de dados, além de pessoal técnico, científico e político para produzir resultados a curto, médio e longo prazo.

Conclui-se também que se deve fazer uso de modelos de representação e simulação do comportamento ambiental como base para as tomadas de decisão, pois se verifica que a escala de informações a serem tratadas é maior que nossa capacidade de entender o eco-sistema de forma completa. Além disso, com o uso de ferramentas computacionais adequadas é possível a integração vários modelos, de forma a criar uma base científica para a tomada de decisão.

A modelagem ambiental tem uma grande participação dentro do processo decisório para a escolha de um regime de vazões ecológicas por auxiliar nas etapas de compreensão do problema, especificação de suas condicionantes, escolha dos parâmetros de análise (critérios) e submissão destes parâmetros a um esquema de valores associado ao próprio conjunto dos gestores. No caso de uma bacia de grande extensão, como a do rio São Francisco, foi necessária o enfoque em uma sub-região, para que se possam ter dados consistentes e, em se efetuando mecanismos de manipulação objetivos e subjetivos destes dados, obter conjuntos de resultados confiáveis.

Quanto ao processo decisório e sua racionalização, esta pesquisa permitiu concluir que a aplicação de técnicas de análise multicriterial pode nos capacitar a entender sob quais aspectos uma alternativa foi escolhida, em detrimento de outras, em que se baseou a decisão, quais os fatores que influenciaram e quais as preferências que formaram o jogo de poderes entre os tomadores de decisão (stakeholders). Aliando-se a estas técnicas, novas ferramentas de processamento de informação devem ser utilizadas no processo decisório e elas terão como objetivo torná-lo mais transparente, lógico e realista.

Durante este trabalho ficou claro que a análise multicriterial está diretamente associada à definição da estrutura do problema e esta estrutura está intimamente ligada à matriz de decisão, que é formada pela organização dos elementos que serão considerados na tomada de decisão. No caso desta pesquisa, conclui-se que a aplicação de uma abordagem difusa a métodos de análise multicriterial, representa uma vantagem do ponto de vista de dar ao pesquisador a

capacidade de representar melhor o comportamento de uma variável (indicador) na análise. Isto se torna importante, pois sabemos que muitas variáveis ambientais não têm sua significação representada por um gráfico linear e as funções difusas fornecem a oportunidade de efetuar procedimentos de análise sobre os conjuntos de possibilidades destas variáveis.

A definição de um hidrograma ecológico (vazão ecológica) requer o estudo de vários fatores, sociais, econômicos, biológicos, hidrológicos, etc. A análise destes fatores requer a sua modelagem e o tratamento dos dados e informações relevantes. Vários cenários para regimes de vazão podem ser avaliados com o uso da análise multicriterial e a abordagem difusa fornece um mecanismo de tornar esta análise mais “realista” pela utilização mais específica dos indicadores dos cenários. Isto significa que o conhecimento, que os especialistas possam inserir na análise, se faz mais influente no processo decisório, aumentando o rigor científico da decisão.

Utilizando a lógica difusa em um sistema de análise multicriterial, esta pesquisa mostrou que a análise multicriterial, como qualquer processo computacional, pode ser otimizada pela forma com que são utilizados os dados básicos de avaliação dos cenários, que são seus indicadores. Apesar de ter sido usada uma estrutura de critérios e indicadores definidos arbitrariamente, para efeito de demonstração da metodologia, as considerações da experimentação são válidas, pois se baseiam em valores passíveis de utilização, no que se refere à credibilidade dos resultados dos experimentos realizados. Futuramente este trabalho pode evoluir executando uma experimentação que envolva os atores reais do processo.

Verificou-se claramente através da análise da aplicação, que a utilização de uma abordagem difusa a indicadores que são utilizados em procedimentos de análise multicriterial vem a ser um mecanismo importante na busca de caminhos que possam levar a avaliações ambientais mais convincentes, já que os modelos e procedimentos artificiais, criados para se compreender os fenômenos naturais, sempre propiciam um fator de “distanciamento” dos processos reais. Neste ponto, a abordagem desenvolvida nesta pesquisa mostrou que, com a aplicação de funções de pertinência difusas, uma variável ambiental pode ser mais bem considerada, em seu comportamento dentro do ecossistema, fazendo com que os decisores possam ter mais condições de cumprir sua tarefa.

Em termos da abordagem metodológica utilizada por esta pesquisa, o objetivo principal foi alcançado, juntamente com os objetivos secundários, pois foi possível estruturar modelos ambientais da região em estudo, experimentar métodos de análise multicriterial e demonstrar as vantagens do uso de sistemas baseados em lógica difusa. Esta lógica permite aos especialistas definirem, em uma estrutura de dados simples, conhecimentos mais realistas, com respeito à pesquisa em busca do hidrograma ecológico. Um sistema computacional foi construído para viabilizar a experimentação da abordagem escolhida e constitui uma contribuição para novos desenvolvimentos de ferramentas de apoio a decisão, que considerem os incertos aspectos ambientais, observados atualmente.

Dentro do que se pode vislumbrar como os caminhos futuros para o desenvolvimento da abordagem utilizada nesta pesquisa, encontram-se principalmente, o aumento da base de alternativas (cenários) possíveis para análise,

a identificação de outros critérios de análise, relevantes para os tomadores de decisão e a geração de um número maior de indicadores, com suas faixas de valores desejáveis.

Verifica-se que é possível também introduzir a lógica difusa em outros pontos do processo de análise multicriterial, como por exemplo, na simulação dos cenários. Em qualquer caso, verifica-se que, pela própria teoria da lógica difusa, sua representação da realidade será sempre melhor que a representação clássica, pois seu arcabouço matemático revela maior potencialidade, no que tange à expressividade da significação dos termos lingüísticos. Neste trabalho, procurou-se analisar apenas um aspecto da aplicação da lógica difusa, podendo-se antever uma série de outras aplicações, dentro do mesmo contexto.

O universo de possibilidades que se abre, quando a pesquisa científica se propõe a abordar um tema tão abrangente como a lógica difusa, considerada como a generalização da lógica clássica, mostra que há ainda um espaço inexplorado e instigante diante dos cientistas em sua busca de compreensão dos fenômenos naturais. Nestes fenômenos, os elementos estão sempre interagindo entre si e criando sempre situações conflitantes, ao ponto de vista cartesiano. Que este trabalho possa contribuir realmente na melhoria de nossa relação com os elementos naturais de forma a garantir a sustentabilidade geral de todas as espécies do planeta



## **7            CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo do tema vazões ecológicas, dentro de um contexto de tomada de decisão, deve ser feito buscando a compreensão dos vários fenômenos envolvidos e dos vários caminhos, ou métodos de que se dispõe para lidar com um grande volume de informações, por vezes incertas e incompletas, que temos dos processos naturais.

Os critérios assumidos nesta pesquisa foram experimentais e basearam-se nas grandes áreas de estudo do tema, mas o estabelecimento de critérios reais pode ser bastante facilitado com o uso dos mapas cognitivos ou outras ferramentas de estruturação do conhecimento, desde que estas possam representar os objetos e situações que têm grande importância para os decisores.

Este trabalho tende a evoluir, dentro da mesma linha, aprimorando-se mais pela inclusão de outros modelos de simulação, de avaliação e de representação, fazendo com que, cada vez mais o conhecimento ambiental possa

ser estruturado em formas compreensíveis, integrado em um conjunto de informações dinâmicas e expandido pelo incremento de sua base de conhecimento com a adição de outros indicadores, os quais associam regimes de vazão a diversas características ambientais ligadas ao tema em estudo. Estes indicadores podem ser criados a partir de novos conhecimentos gerados por grupos de pesquisa que estão atualmente trabalhando sobre o tema vazões ecológicas.

O autor se sente honrado de estar envolvido em uma pesquisa com o grau de importância que tem, a busca da identificação de um regime de vazões ecológicas para um manancial, que não é só de água, mas é também de cultura, de sabedoria, de contrastes e de esperanças, como é o rio São Francisco, o “Velho Chico”. Dentro da humilde capacidade de pesquisador iniciante, o autor deste trabalho colocou muitos momentos de estudo, pesquisa, reflexão e sentimentos de compaixão para com o Velho Chico e todas as pessoas que vivem na dependência dele, que, diga-se de passagem, somos todos nós.

Na verdade, este trabalho não foi feito diretamente em prol das “pessoas”. Esta pesquisa foi elaborada e desenvolvida com sentido de auxiliar, de alguma forma, a revitalizar o Velho Chico, pois se percebe que seu ecossistema que está machucado e desequilibrado pela expansão exagerada e ocupação desordenada dos espaços naturais, que a humanidade propiciou nos últimos 10.000 anos.

A tarefa é enorme, e quando em um belo dia, alcançarmos o equilíbrio ambiental em nossa forma de viver, veremos todo o esforço que fizemos para a valorização dos elementos naturais, retornar como benefícios para nós mesmos.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR J. S., *Semi-árido, fome e pobreza: a falta de foco nas estratégias de desenvolvimento para o Nordeste*, Estudos e Pesquisas Nº 58, Seminário Especial Fome e Pobreza, Rio de Janeiro, (2003), 11pp.

AMODOUTOR, *Abordagem Multiobjetivo para Decisão de Outorga*, Relatório MCT/FINEP/CT-HIDRO – UFBA/GRH, (2006). 184pp.

ANA – Agência Nacional de Águas, *Nota técnica n. 93/2007*, GBOUT-SOF/ANA, Brasília, (2007), 20 pp.

ANDRÉ F. J., ROMERO C., *On the equivalence between compromise programming and the use of composite compromise metrics*. ECOM, Working Papers Series, 6.33 (2007). Obtido em 20/04/2007 no endereço: <http://www.upo.es/econ>

ANJOS, B. V.; SALLES P., *Modelagem em raciocínio qualitativo sobre degradação de vegetação ripária em microbacias semi-urbanizadas do cerrado*. Rev. Eletrônica Mestrado Educação Ambiental, 17 (2006). pp. 90-112.

ARAÚJO, S. C. S., *Modelos de simulação baseados em raciocínio qualitativo para avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas*. Tese de Doutorado, (2005). UNB/Inst. de Ciências Biológicas, Brasília/DF, 287pp.

BELLA A., DUCKSTEIN L., SZIDAROVSKY F., *A multicriterion analysis of the water allocation conflict in the upper Rio Grande basin*. Applied Mathematics and Computation, 77 (1996), p 245-265.

CBHSF, *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*, Resumo executivo (2004), ANA, Salvador, 319pp.

CBHSF, *Regimento interno do comitê da bacia hidrográfica do rio São Francisco*. (2007), obtido em 20/04/2008 no endereço eletrônico:  
<http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/regimento.html>

CHANG Y. H., YEH C. H., *Evaluating airline competitiveness using multiattribute decision making*. Omega, 29 (2001), p 405–415.

CHEN C. B., KLEIN C. M., *An efficient approach to solving fuzzy MADM problems*. Fuzzy Sets and Systems, 88 (1997), p 51-67.

CHENG S., CHAN C. W., HUANG G.H., *An integrated multi-criteria decision analysis and inexact mixed integer linear programming approach for solid waste management*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 16 (2003), p 543–554.

CHRISTOFOLETTI A., *Modelagem de sistemas ambientais*. Ed. Edgard Blücher, (1999). São Paulo, 235pp.

COLLISCHONN W. et al, *Em busca do hidrograma ecológico*, In Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, novembro de 2005, (2005), 21 pp.

COSTA F. J. C. B., *Recomposição da ictiofauna reofílica do baixo São Francisco*,, Resumo executivo, UFAL, (2003), Maceió, 74 pp.

CRUZ R. C., *Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacia com carências de dados*, (2005), tese de doutorado, Instituto de Biociências, UFRS.

DENG, Hepu - *Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison*. International Journal of Approximate Reasoning, 21 (1999), p 215-231.

DUBOIS D., PRADE H., *Fuzzy sets in approximate reasoning, part 1: inference with possibility distributions*. Fuzzy Sets and Systems, v. 40, (1991), pp 143 – 202.

DRMRJ – Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro, *página da internet sobre águas subterrâneas*. Obtido em 04/02/2009 no endereço eletrônico: <http://www.drm.rj.gov.br/projeto.asp?chave=6>

FALCÃO J. E., *Análise de metodologias utilizadas para a determinação da vazão ecológica. Estudo de caso: rio Coruripe/AL e rio Solimões/AM*, (2006), dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FARIA A. S. et al., *Modelo de redes de fluxo e análise multicriterial - uma aplicação à gestão de recursos hídricos na bacia do Rio Paraguaçu*, in VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, (2002) Maceió, AL.

FARIA A. S., *Alocação ótima dos recursos hídricos a partir da aplicação de um modelo de rede de fluxo*, dissertação de mestrado, UFBA/MEAU, (2003), 128 pp.

FARIA A. S., MEDEIROS Y. D. P., SRDJEVIC B., *Aplicação de técnicas computacionais para tomada de decisão no processo de alocação de água na bacia do rio Paraguaçu – Bahia*, in: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004, São Luis/MA. Anais do VII SRHN, (2004), v. 1. p. 262.

FORBUS, K. D., *Qualitative process theory*. Artificial Intelligence, 24 (1984). pp 85-168.

GRH – Grupo de Recursos Hídricos, *Sistema de apoio à decisão para o gerenciamento dos Recursos hídricos da bacia do rio Paraguaçu: Instrumentos de apoio à decisão*. Relatório Executivo, UFBA/DEA/GRH, Salvador, (2004), 49pp.

GRIFFITH J. J., TOY T. J., *O modelo físico-social da recuperação ambiental*. Brasil Mineral, ano 22, n. 242. (2005). p. 166-174.

HAJKOWICZ S., HIGGINS A., *A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management*. European Journal of Operational Research, article in press (2006).

HIDROWEB, *Caracterização da bacia*. (2007). Página obtida em 10/05/2007 no endereço eletrônico:

<http://hidroweb.ana.gov.br/cd6/saofrancisco/sedimentos/bacia.doc>

HWANG, C. L. E YOON, K. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application*. Springer-Verlag, Berlin (Alemanha), 1981.

JACIMOVIC R., *Linking ecological status of the river with human well being, a case of Kolubara river in Serbia*, UNESCO-IHE, dissertação de mestrado, (2008).

KABASSI K., VIRVOU M., *Personalised adult e-training on computer use based on multiple attribute decision making*. *Interacting with Computers*.16 (2004), p 115-132.

LABADIE J. W., *Program MODSIM, river basin network flow model for the Microcomputer*, Department of Civil Engineering. Colorado State University, Fort Collins, Co., (1988).

LABSID – Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisões, ACQUANET – *Modelo para Alocação de Água em Sistemas complexos de Recursos Hídricos*, USP/Labsid, (2002). Obtido em 23/04/2008, no endereço eletrônico:

<http://200.144.189.36/labsid/Programas.aspx?u1=programas&u2=6>

LERNER, G. L. S., *Estudo de impactos na geração hidroelétrica ao longo do rio São Francisco devido à transposição de suas águas utilizando modelo matemático de fluxos em rede acquanet*, Dissertação de Mestrado, (2006). COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 117pp.

LI L., LAI K. K., *A fuzzy approach to the multiobjective transportation problem*. *Computers & Operations Research*, 27 (2000), p 43-57.

LOCKIE S., ROCKLOFF S., *Decision Frameworks: assessment of the social aspects of decision frameworks and development of a conceptual model*, Queensland University / Cooperative Research Center for Coastal Zone, Estuary and Waterway Management, Technical Report N.20, (2005), 41 pp.

MACHADO A. T. M., *A construção de um programa de revitalização na bacia do rio São Francisco*, Estudos Avançados 22 (63), (2008).

MARENGO J. A. et al., *Previsão de vazões de longo prazo na bacia do rio São Francisco: previsão da precipitação*, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 12p, 2005.

MEDEIROS P. R. P., *Determinação da carga de nutrientes do rio São Francisco, na região de sua foz*, Resumo executivo, UFAL, (2003), Maceió, 59 pp.

MEDEIROS Y. D. P. et al., *Alocação de águas em bacias hidrográficas: uma abordagem ambiental*, In Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá, (2006a).

MEDEIROS Y. D. P. et al., *Processo decisório de alocação de águas utilizando análise multicritério: caso da bacia do rio São Francisco*. In Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gravatá, (2006b).

MEIJER, K. S., *Human well-being values of environmental flows: enhancing social equity in integrated water resources management*, Tese de Doutorado, University of Delft, Holanda, (2007), 207 pp.

MERINO G. G. et al, *Fuzzy compromise programming with precedence order in the criteria*. Applied Mathematics and Computation, 134 (2003), p 185–205.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, *Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco*, Brasília, (2006), 148 pp.

O'KEEFFE J., *What are environmental flows? Background and rationale*, UNESCO-IHE, (2008), obtido em 14/05/2008 no endereço:

[www.grh.ufba.br/%5Cecovazao%5CO'Keeffe\\_ENVIRONMENTAL%20FLOWS\\_alt.ppt](http://www.grh.ufba.br/%5Cecovazao%5CO'Keeffe_ENVIRONMENTAL%20FLOWS_alt.ppt)

O'KEEFFE J., *Sustainable flows for the Ganga river - setting objectives*, UNESCO-IHE, (2009), obtido em 30/04/2009 no endereço:

<http://grh.ufba.br/moodle/mod/resource/view.php?id=67>

OLIVEIRA A. M., *Estudo hidro-dinâmico e sedimentológico do baixo São Francisco, estuário e zona costeira adjacente – AL/SE*, Resumo executivo, UFAL, (2003), Maceió, 35 pp.

OLIVEIRA V. S., *Erosão marginal no baixo curso do rio São Francisco e seus efeitos nos agroecossistemas. Período: 1975 – 2005*, Dissertação de Mestrado, UFSE/NPERN, (2006). 76 pp.

ONS - Operador Nacional do Sistema, *Previsão de vazões*, página da Web, acessada em 18/01/2010, no endereço:

[http://www.ons.org.br/operacao/previsao\\_vazoes.aspx](http://www.ons.org.br/operacao/previsao_vazoes.aspx)

PARETO V., *Course d'Economy Politique*. Lausanne, Rouge. (1896).

PARK K. S., KIM S. H., *A note on the fuzzy weighted additive rule*. Fuzzy Sets and Systems, 77 (1996), p 315-320.

PELISSARI V. B., SARMENTO R., *Vazão ecológica a ser considerada no licenciamento ambiental dos sistemas de abastecimento de água*. In: 21<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, (2001), João Pessoa.

PEREIRA, S. B. et. al., *Distribuição espacial das variáveis hidrológicas na bacia do rio São Francisco*, Rev. Engenharia na Agricultura, 11 (2003). pp 32-42.



PEREIRA, S. B., *Evaporação no lago de Sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco*, (2004), Tese (Doutorado em Eng. Agrícola), Universidade Federal de Viçosa.

PORTO R. L. L., AZEVEDO L. G. T., *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*, 1997, Editora Universidade/UFRGS/ABRH, pp 15-95.

RAJU K. S., PILLAI C. R. S., *Multicriterion decision making in river basing planning and development*. European Journal of Operational Research, 112 (1999), p 249-257.

RAMANATHAN R., *A note on the use of the analytic hierarchy process for environment impact assessment*. v. 63 (2001) pp27-35.

RAMOS V. O. C., *Pesca, pescadores e políticas públicas no baixo São Francisco, Sergipe. Brasil*, Dissertação de Mestrado, (2001). UFSE/NPESA, 197 pp.

ROGERS K. H., BESTBIER R., *Development of a protocol for the definition of the desired state of riverine systems in South Africa*, Department of Environmental Affairs and Tourism, Pretoria, (1997).

SAATY T. L., *How to make a decision: the analytic hierarchy process*. European Journal of Operational Research, 48 (1) (1990), p 9-26.

SALLES P. et al, *Uso de raciocínio qualitativo no processo de alocação de águas em bacias hidrográficas*, in Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 27 a 29 de agosto, (2006). Curitiba/PR, 17pp.

SARMENTO R., *O estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo*. Unesco/ANA, CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, (2007) , obtido em 11/04/2008, no endereço eletrônico:

<http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/DOCZ/Vazao.Ecologica.Produo.02.Robson.Sarmento.20.06.07.pdf>

SCHOFIELD N., BURT A., CONNELL D., *Environment water allocation: principles, policies and practices*, Land and Water Austrália, Canberra Publishing, Austrália, (2003), 39 pp.

SHIAU J. T., WU F. C., *Compromise programming methodology for determining instream flow under multiobjective water allocation criteria*. Journal of the American Water Resources Association, ID 05013 (2006), p 1179-1191.

SHIM J. P. et al, *Past, present and future of decision support technology*, Decision Support Systems, v. 33 (2002), p. 111-126.

SILVA E. R., MEDEIROS Y. D. P., *Um modelo ambiental qualitativo para o baixo curso do rio São Francisco*, XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. Anais do XVII SBHN, (2007).

SIMONOVIC S. S., *A spatial fuzzy compromise programming for management of natural disasters*. Institute for Catastrophic Loss Reduction, Paper Series, 24 (2002), Toronto.

SIMONOVIC S. P., *Managing Water Resources: Methods and Tools for a Systems Approach*, UNESCO e Earthscan Publications Ltd, Londres, (2009), 680 pp.

SRDJEVIC B. et al., *Evaluating Management Strategies in Paraguaçu River Basin by Analytic Hierarchy Process*. IEMSS 2002, Lugano (Itália), Integrated Assessment and Decision Support Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, 1 (2002), p 42-47.

SRDJEVIC B., *Métodos de análise de sistemas em engenharia*, Notas de Aulas, Departamento de Engenharia Ambiental, UFBA, Salvador, (2003).

SRDJEVIC B., *Advanced decision support tools in agriculture and water management*. International Conference on Sustainable Agriculture and European Integration Processes, Novi Sad, Serbia (2004a).

SRDJEVIC B., MEDEIROS Y. D. P., FARIA A. S., Na objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Water Resources Management*, 18, (2004b).

SRDJEVIC B., *Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management*. *Decision Support Systems*, 42 (2007), p 2261–2273.

TRANTAPHYLLOU E., *A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods*. *Decision Sciences*, 28 (1) (1997), p 151-194.

WANG Y. M., ELHAG T. M. S., *Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment*. *Expert Systems with Applications*, 31 (2006), p 309–319.

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

ZANAKIS, S. H. et al., *Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods*. *European Journal of Operational Research*, 107 (1998), p 507-597.

ZELENY M., *Multiple Criteria Decision Making*. University of South Carolina, Press Columbia, (1973). 266 pp.

ZUFFO A. C., *Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos*, Tese de doutorado, USP/São Carlos, (1998)

## APENDICE A

Modelo qualitativo (integralizado) construído para representação da influência ecológica das grandes barragens.

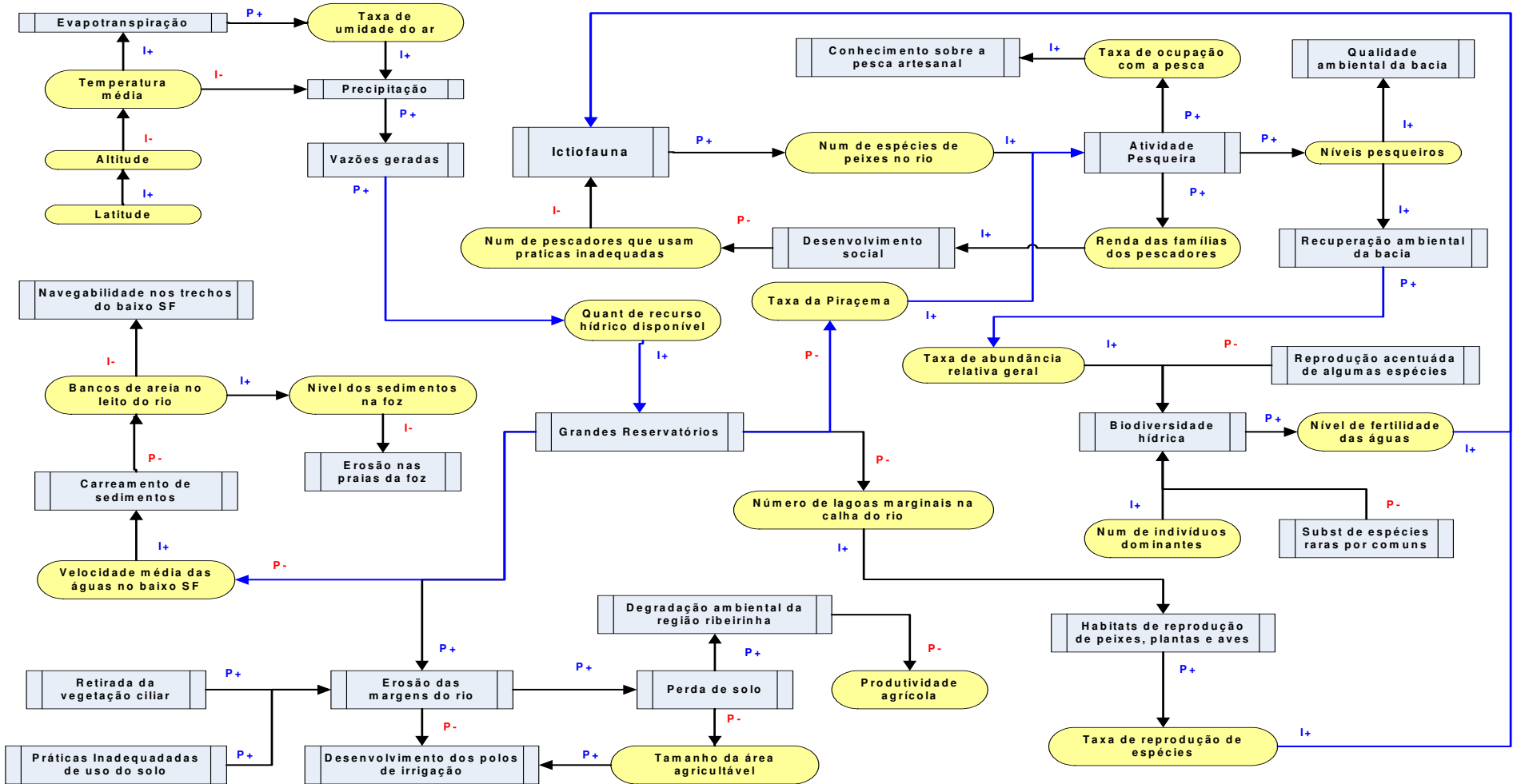


Figura 54: Modelo qualitativo que representa elementos do ecossistema do baixo São Francisco.

## APENDICE B

### Descrição do Aplicativo Construído

A seguir é apresentada a descrição das funcionalidades (Telas) do aplicativo desenvolvido para experimentação e comparação do funcionamento de metodologias de análise multicriterial para escolha de um regime de vazões ecológicas, em suas formas: clássica e difusa.

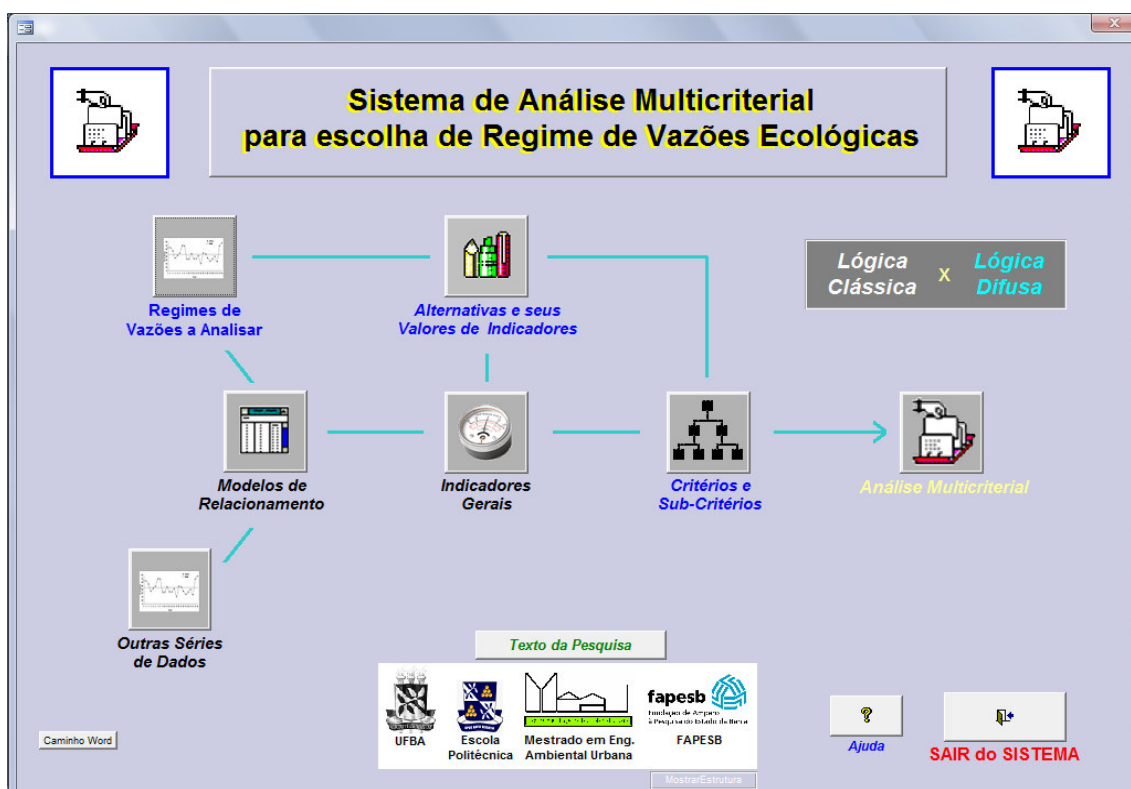


Figura 55: Tela inicial do Sistema de Análise Multicriterial Difusa.

A tela inicial do sistema é mostrada na figura 55, esta disponibiliza o acesso aos principais componentes, além de um conjunto de arquivos com a fundamentação teórica do trabalho. Os principais componentes do sistema são: (1) conjunto de regimes de vazões para análise, onde são introduzidos os dados seriais com período de um ano para cada regime passível de ser analisado pelo sistema;

(2) conjunto de modelos de representação contextual e comportamental do ambiente de decisão; (3) conjunto de outras séries de dados que podem ser utilizados, juntamente com as séries de vazões, para composição dos indicadores utilizados pelo sistema; (4) conjunto de indicadores disponíveis para utilização na avaliação dos critérios; (5) conjunto de alternativas de decisão, o qual será efetivamente analisado; (6) conjunto de critérios que formará a árvore de decisão à qual serão submetidas as alternativas e; (7) conjunto de métodos multicriteriais disponíveis para análise.

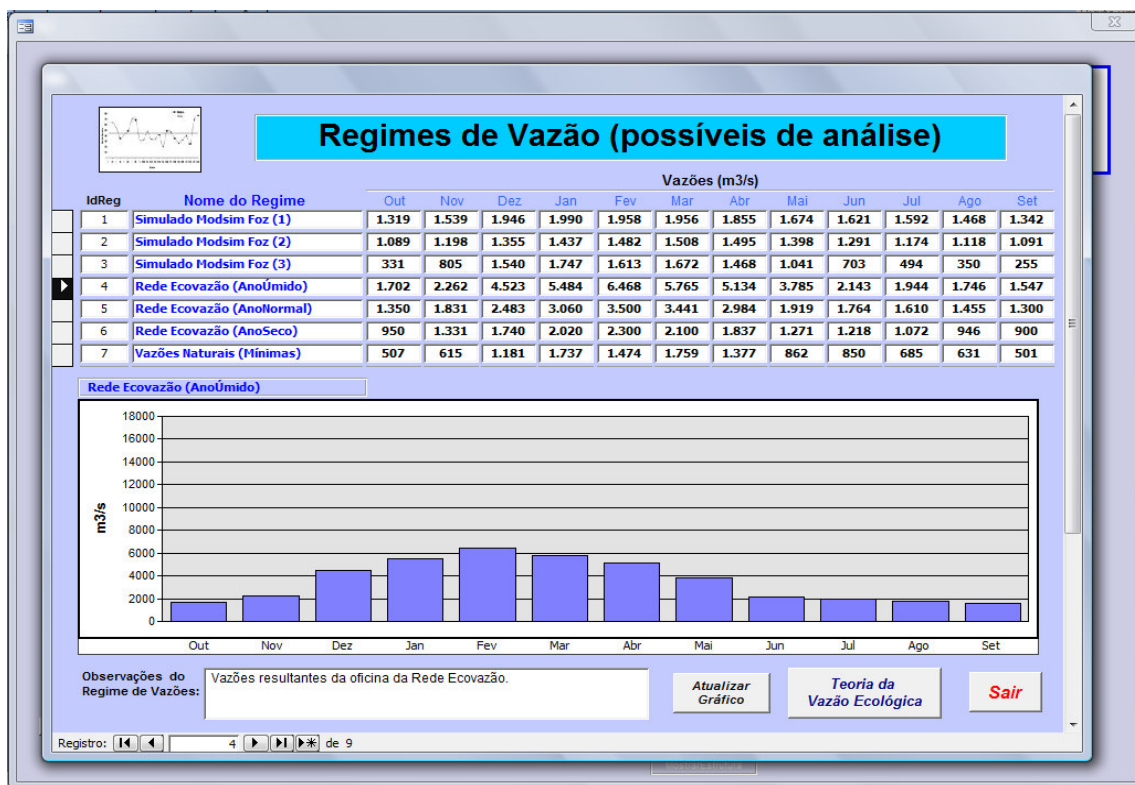


Figura 56: Tela de registro dos regimes de vazões, passíveis de análise.

Clicando no botão “Regime de Vazões Ecológicas” é disponibilizada a tela (Figura 56) de registro dos valores de vazão em conjuntos anuais, com identificação numérica (automática), nome do regime e séries de valores, além de um comentário

sobre o regime. É mostrado também um quadro com o gráfico correspondente ao regime que estiver selecionado. Para selecionar um registro deve-se clicar no “quadrado” cinza, do lado esquerdo do registro. Quando se altera algum valor de um regime de vazões, a atualização do gráfico não é feita automaticamente, é preciso clicar no botão “Atualizar Gráfico”.

Clicando no botão “Outras Séries de Dados”, é disponibilizada uma tela para que o usuário consulte, edite, adicione ou elimine séries de dados de diversos tipos. Estas séries são mensais e podem ser utilizadas para compor indicadores, junto com as séries de vazões disponíveis para análise. Esta tela (Figura 57) funciona da mesma maneira que a anterior com a diferença que, recomenda-se que se registre a unidade que é usada pelos dados da série registrada.

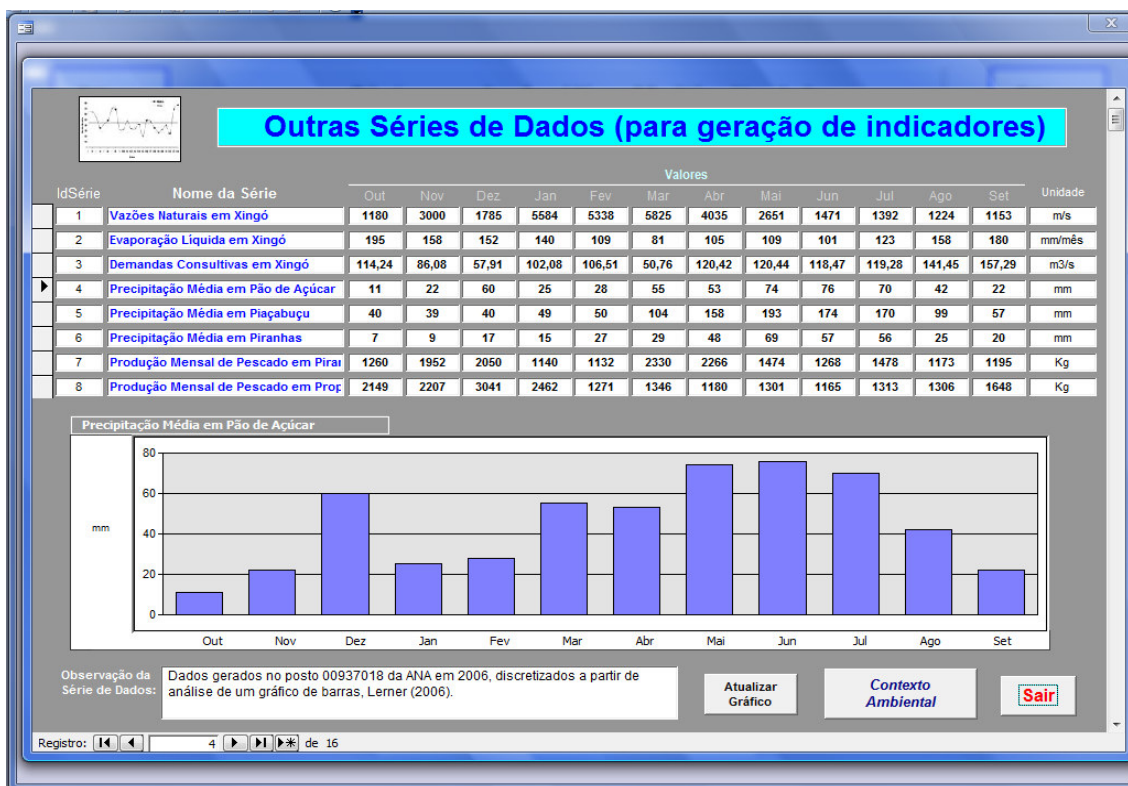


Figura 57: Tela de registro de séries de dados adicionais.

Através do botão “Modelos de Relacionamento” pode-se ter acesso a alguns modelos, quantitativos e qualitativos, que descrevem objetos, classes, atribuições e relações dos componentes do sistema ambiental que envolve a decisão de escolha de um regime de vazões ecológicas. Esta tela é mostrada na Figura 58.

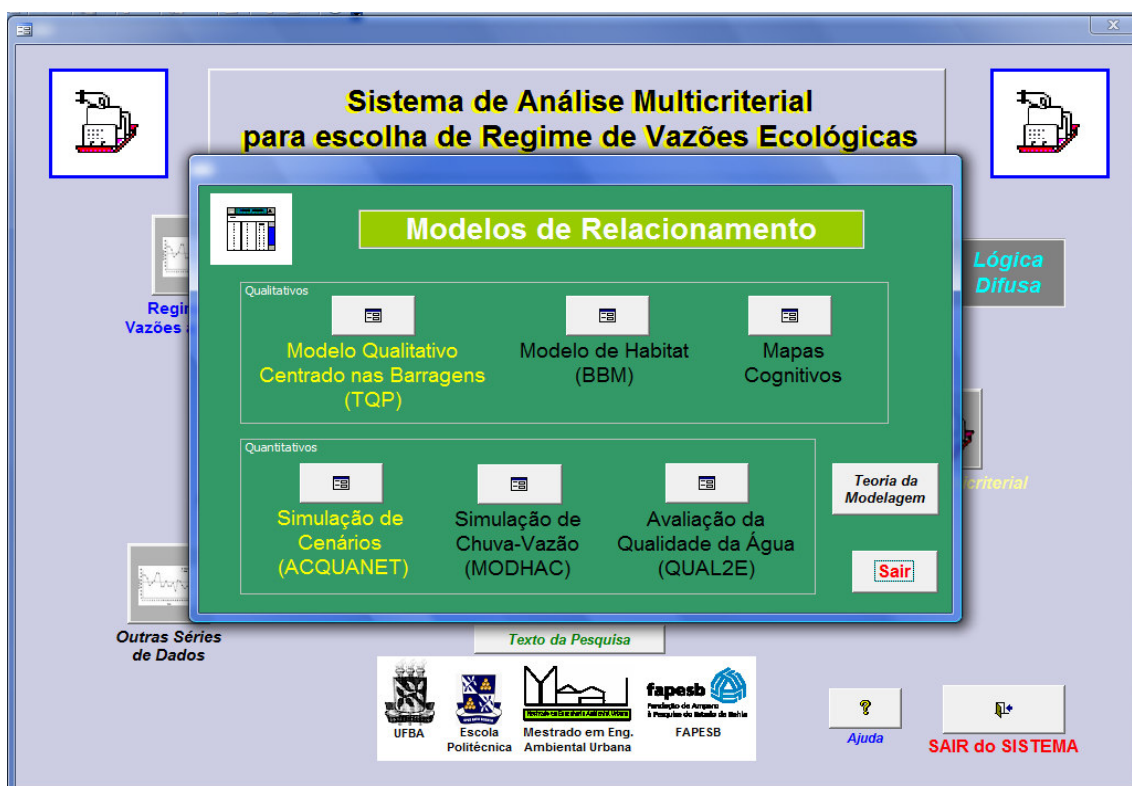


Figura 58: Tela de acesso aos modelos de representação do sistema.

Só estão disponíveis os modelos que aparecem na tela da Figura 58, em amarelo. Um dos modelos acessíveis atualmente pela tela dos modelos de relacionamento é um modelo qualitativo causal que apresenta as relações de causa-efeito em torno da construção de grandes reservatórios. Esta tela é mostrada na Figura 59 e tem a função de orientar os tomadores de decisão a estruturar sua decisão em torno de elementos de grande representatividade dentro do ecossistema.



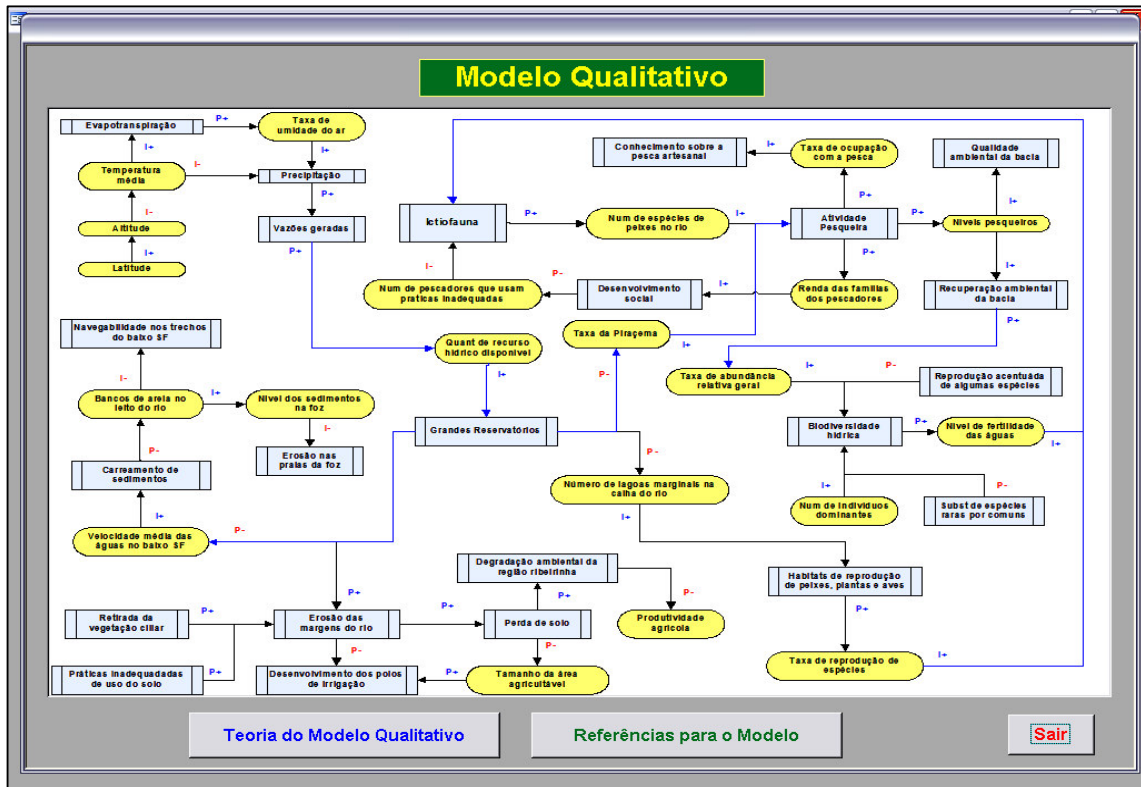


Figura 59 Tela de apresentação de um modelo qualitativo causal.

Voltando à tela de abertura do sistema, é possível o acesso à tela de indicadores gerais do sistema. Nesta tela podem ser registrados indicadores quantitativos e qualitativos, sendo que, cada indicador quantitativo necessita que seja criada uma consulta no banco de dados de séries do sistema, para geração automática de seu valor.

Na tela de indicadores do sistema, mostrada na Figura 60, são disponibilizados também: um campo para registro do nome da consulta geradora do indicador quantitativo; um campo para unidade deste indicador; um campo para uma explanação a respeito de sua composição e uso; além de campos para tipo e descrição. Cada indicador deve ter, obrigatoriamente, um termo lingüístico difuso associado a ele e este pode ser acessado pelo botão na parte baixa da tela.

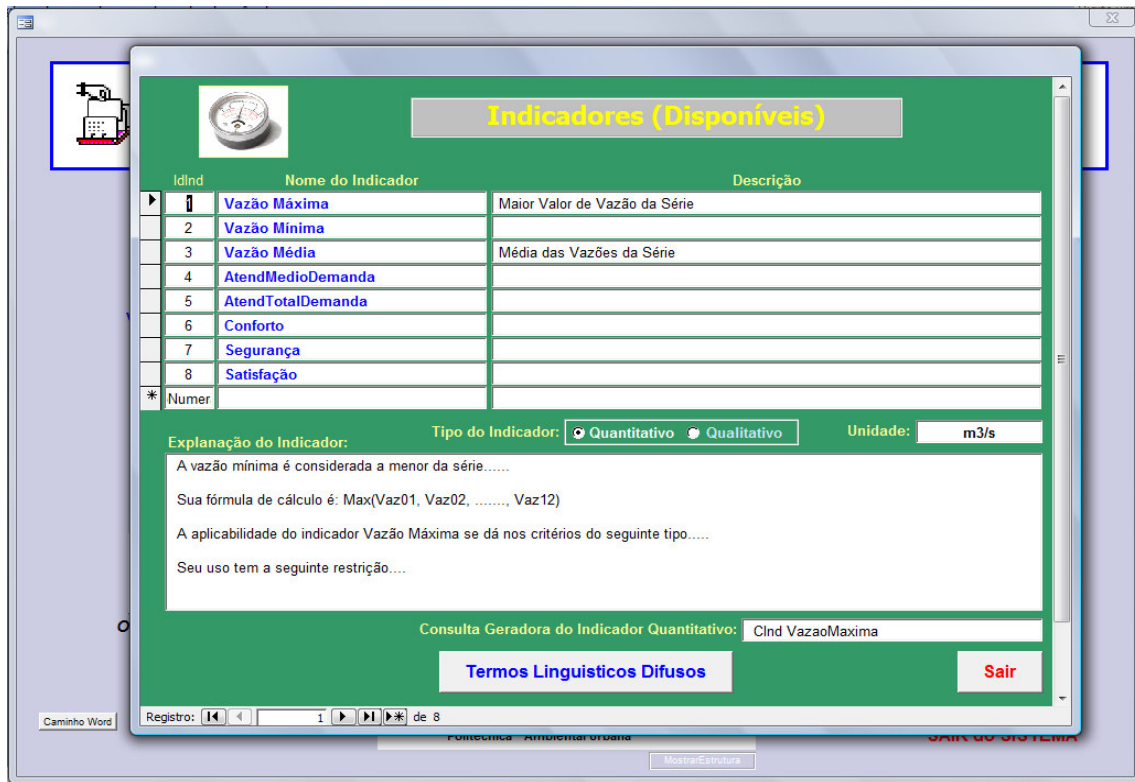


Figura 60: Tela de acesso aos indicadores gerais do sistema.

Clicando no botão “Termos Linguísticos Difusos” pode-se acessar a tela de registro dos termos linguísticos responsáveis pela “fuzzificação” do indicador selecionado na tela de indicadores gerais do sistema. Esta tela é mostrada na Figura 61. Cada registro de termo linguístico é formado por: um campo “identificador” (automático), para uso do sistema; um campo para o “termo” propriamente dito; um campo de escolha da forma (linear) da função difusa, com três possibilidades de escolha (triangular, subida/descida e trapezoidal) e; quatro campos para os valores, considerando-os na ordem, da esquerda para a direita, da forma que aparecem no gráfico. As formas “descida/subida” só necessitam de dois valores, a forma “triangular” necessita de três e a forma “trapezoidal” de quatro. São disponibilizados também nesta tela os botões de atualização do gráfico, e o acesso à teoria sobre variáveis linguísticas difusas. É importante salientar que os valores usados para

termos linguísticos de indicadores qualitativos devem ter seu universo compreendido entre 0 e 10 pois são estes valores que eles podem assumir.

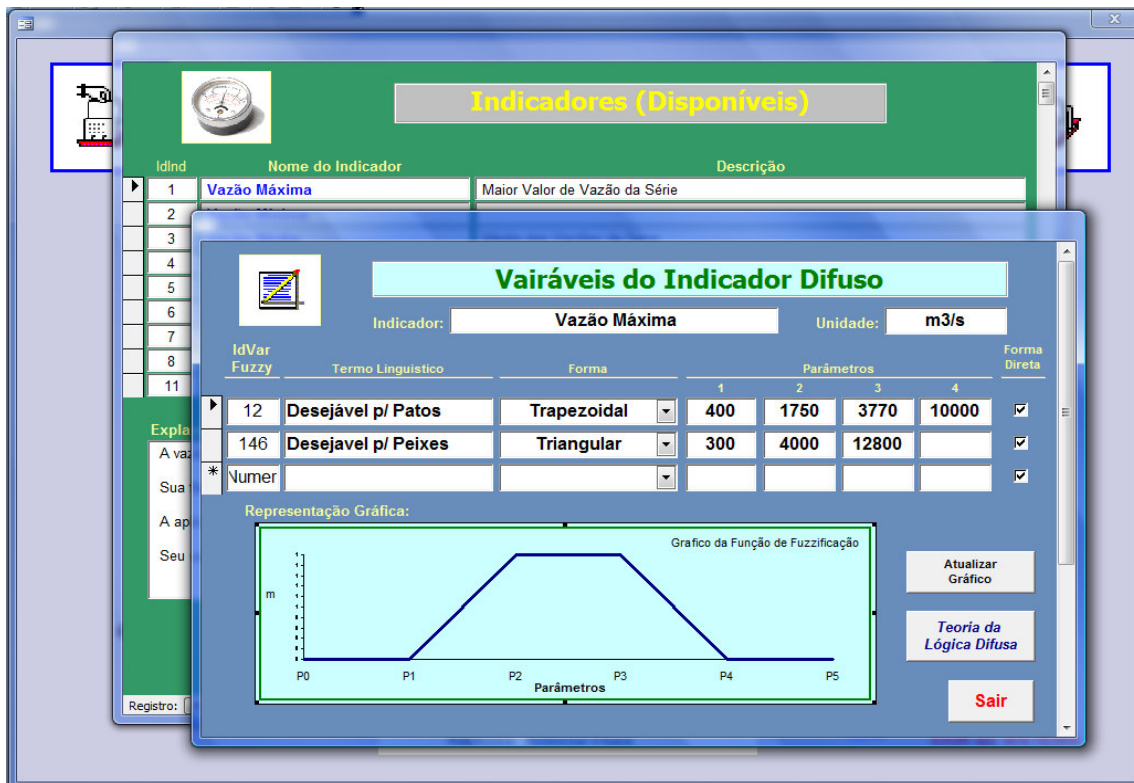


Figura 61: Tela de registro das variáveis difusas.

Pode-se usar uma forma (triangular, subida/descida ou trapezoidal) de maneira "direta", marcando a caixinha à direita, ou "inversa", desmarcando a caixinha, conforme é apresentado na Figura 62.

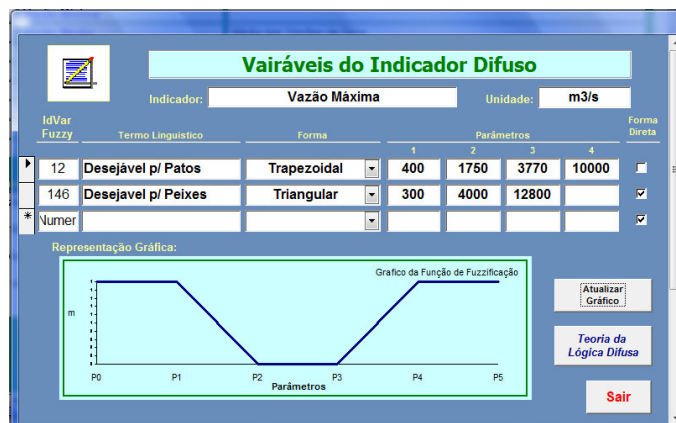


Figura 62: Forma inversa da função de pertinência da variável difusa.

O registro das alternativas a serem analisadas é feito na tela acessada pelo botão “Alternativas e seus Valores de Indicadores”. Um nome e um regime de vazões deve ser escolhido para cada alternativa a ser analisada e apenas 7 podem ser escolhidas de uma só vez para cada análise. Nesta tela também se pode verificar os valores dos indicadores referentes aos regimes de vazões associados à cada alternativa. É necessária a digitação do número para a alternativa no campo “IdAlter”. A ordem de posicionamento das alternativas nesta tela, mostrada na Figura 63, seus números e nomes não tem influência nenhuma no resultado da análise. Apenas não se deve repetir nenhum número escolhido para as alternativas.



Figura 63: Tela de acesso às alternativas a serem analisadas pelo sistema.

É necessária também a valoração (referente à alternativa selecionada nesta tela) dos indicadores qualitativos que foram registrados no sistema, pois estes indicadores (qualitativos) têm sua valoração feita manualmente, ao contrário dos

quantitativos, que são valorados automaticamente para cada alternativa. O acesso aos indicadores da alternativa (selecionada) se dá através do botão na parte inferior desta tela. Na Figura 64 é mostrada a tela de indicadores quantitativos da alternativa, neste caso, “Ecológica Forte”. Nesta tela são mostrados os nomes e os valores gerados (automaticamente) para os indicadores quantitativos.

**Indicadores da Quantitativos da Alternativa**

Alternativa: 1 Simulada 1

Regime de Vazões: Simulado Modsim Foz (1)

IdInd	Nome do Indicador	Valor	Unidade
1	Vazão Máxima	1989,79	m3/s
2	Vazão Mínima	1318,57	m3/s
3	Vazão Média	1688,242	m3/s
4	AtendMedioDemanda	17,889	Unidades
5	AtendTotalDemanda	214,671	Unidades

Obs: Os valores dos indicadores quantitativos são gerados automaticamente pelas suas consultas geradoras.

Indicador

Figura 64: Tela de valores dos indicadores quantitativos de uma alternativa.

Na Figura 64 é mostrada a tela com os nomes e valores dos indicadores quantitativos. Caso estes não tenham sido ainda valorados, isto deve ser feito antes de qualquer análise multicriterial que envolva esta alternativa. Para se valorar inicialmente, ou alterar o valor de um indicador qualitativo referente a uma alternativa deve-se clicar no campo de valor referente ao indicador que se deseja e escolher em uma escala, mostrada na Figura 65, que vai de 0 (zero) a 10 (dez).

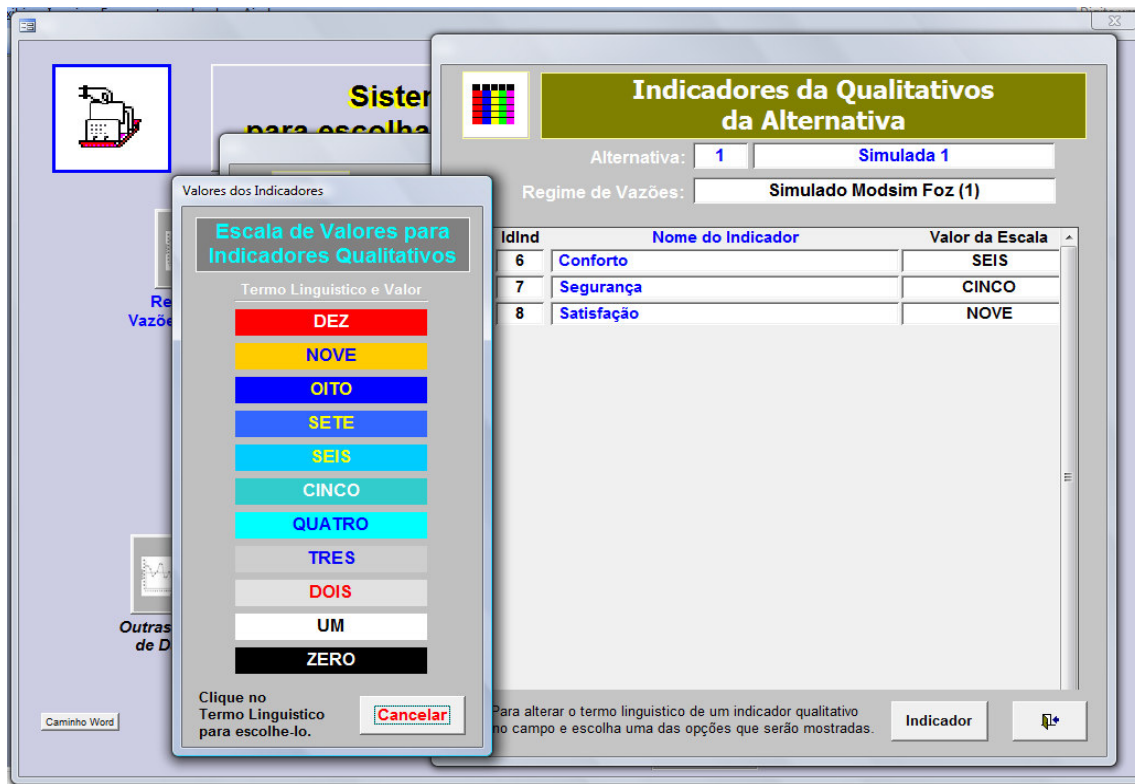


Figura 65: Tela dos indicadores qualitativos de uma alternativa e janela de possíveis valores.

Novamente, a partir da tela inicial, temos o botão de acesso ao registro de critérios e subcritérios do sistema. Nesta tela, mostrada na Figura 66, deve-se montar a “árvore de decisão” da análise multicriterial. Para registrar um critério é necessário se digitar inicialmente um número (não repetido) para o critério no campo “IdCrit” e, em seguida o nome do próprio critério. Agora se deve escolher o critério que é “pai” deste critério, isto é, o critério do qual o critério que se está registrando é subcritério, ou filho. Esta etapa requer uma atenção especial para a perfeita montagem da árvore “genealógica” da análise multicriterial. Em seguida, caso o critério que se está registrando não tenha subcritérios, deve-se escolher um indicador para ele. Se um indicador for escolhido para um critério, que na seqüência venha a ser escolhido como pai de outro critério, o indicador dele será excluído, pois os indicadores de critérios “pais” são calculados com base nos indicadores de seus

filhos. Na Figura 65, por exemplo, o critério “Aspectos Biológicos” terá seus indicadores (um para cada alternativa analisada) calculados com base nos critérios “Ictiologia” e “Bentos”, por isso, no campo do indicador associado a este critério, aparecerá a expressão “---- Critério Pai”.

IdCrit	Nome do Critério	Importância Relativa	Id	Critério Pai	Indicador Associado	Maxim Indic	IndicEspecifico Difuso
1	Regime Ecol. Mais Adequado				..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Aspectos Biológicos	Alta	1	Regime Ecol. Mais Adequado	..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Aspectos Socio-Econômicos	Alta	1	Regime Ecol. Mais Adequado	..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Aspectos Físicos	Alta	1	Regime Ecol. Mais Adequado	..... Critério Pai	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Ictiofauna	Grande	2	Aspectos Biológicos	Vazão Máxima	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Peixes
6	Bentos	Grande	2	Aspectos Biológicos	Vazão Média	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Sapos
7	Sociologia	Grande	3	Aspectos Socio-Econômicos	Satisfação	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Ribeirinhos
8	Economia	Grande	3	Aspectos Socio-Econômicos	AtendMedioDemanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Indústria
9	Hidrologia	Grande	4	Aspectos Físicos	AtendTotalDemanda	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Pessoas
10	Hidráulica	Grande	4	Aspectos Físicos	Vazão Mínima	<input checked="" type="checkbox"/>	Desejável p/ Lagartos
*			0			<input type="checkbox"/>	

Obs do Critério: Objetivo da Decisão, precisa ser definido como critério número 1.

Teoria da Análise Multicritério Sair

Registro: 14 de 10

Figura 66: Tela de registro dos critérios e indicadores da análise multicritério.

Após a montagem da estrutura da árvore, é necessária a “ponderação” de todos os critérios, com exceção do critério de número 1, que é o próprio objeto da decisão. A ponderação de um critério é relativa aos outros critérios “filhos” do mesmo critério pai e é feita clicando-se no campo “Importância Relativa”. Esta ação abrirá uma pequena janela, mostrada na Figura 67, com as opções de termos lingüísticos (não-difusos) para a ponderação. A escala logarítmica foi adotada para as opções dos pesos dos critérios, pois permite a escolha de valores próximos, com o uso das variáveis “mínima” até “grande” e, caso se queira definir grandes

diferenças entre os pesos dos critérios, pode-se utilizar os valores “alta”, “altíssima” e “extrema”, para representar a dominância de algum(ns) critérios.

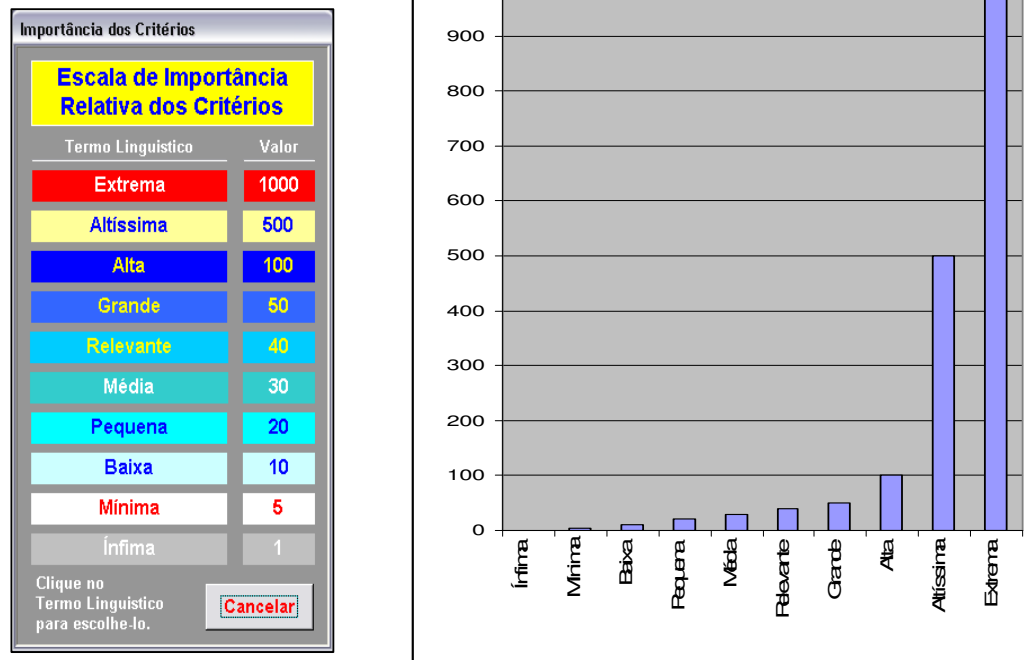


Figura 67: Janela mostrando a escala (logarítmica) de atribuição de importância (peso) relativa para ponderação dos critérios e seu correspondente gráfico de valores.

A última tarefa para o registro completo de um critério é a especificação de sua função objetivo, se é de maximização ou minimização, salientando que esta propriedade se aplica ao indicador, isto é, para que o critério seja satisfeito, se o sistema deve maximizar ou minimizar o indicador a ele associado. O último módulo, acessível através da tela inicial é o de “Métodos Multicriteriais”, mostrado na Figura 68, ele disponibiliza, coletivamente, os resultados do processamento da análise multicriterial da árvore de decisão, para os quatro métodos de análise estudados. Os resultados apresentados referem-se ao último processamento que foi feito. Nesta tela é possível o acesso aos parâmetros da análise, isto é, as alternativas e os critérios. Caso seja feita troca em algum dos parâmetros é necessário re-efetuar o processamento das análises, através do botão “Executar a avaliação dos Métodos”.



O botão de apresentação dos indicadores da alternativa toma como referência, a alternativa que estiver selecionada na lista apresentada pelo método CP (Fuzzy).

Comparação de Resultados da Aplicação das Metodologias sob Lógica Clássica e Difusa

Lógica Clássica			Lógica Fuzzy		
	Regime de Vazão	Pontuação		Regime de Vazão	Pontuação
1.	Ecovazão Ano Úmido	297,734	1.	Vazões Naturais Médias	265,581
2.	Vazões Naturais Médias	226,27	2.	Ecovazão Ano Normal	226,085
3.	Ecovazão Ano Normal	206,116	3.	Simulada 3	194,854
4.	Simulada 1	139,524	4.	Ecovazão Ano Úmido	187,296
5.	Simulada 2	65,85	5.	Simulada 1	104,686
6.	Simulada 3	64,655	6.	Ecovazão Ano Seco	99,974
7.	Ecovazão Ano Seco	48,318	7.	Simulada 2	60,09

	Regime de Vazão	Pontuação		Regime de Vazão	Pontuação
1.	Ecovazão Ano Úmido	399,204	1.	Vazões Naturais Médias	0,56
2.	Vazões Naturais Médias	331,409	2.	Ecovazão Ano Úmido	0,532
3.	Ecovazão Ano Normal	300,092	3.	Ecovazão Ano Normal	0,52
4.	Simulada 1	231,293	4.	Simulada 1	0,396
5.	Simulada 2	175,099	5.	Ecovazão Ano Seco	0,286
6.	Ecovazão Ano Seco	174,997	6.	Simulada 2	0,285
7.	Simulada 3	138,899	7.	Simulada 3	0,253

	Regime de Vazão	Pontuação		Regime de Vazão	Pontuação
1.	Ecovazão Ano Úmido	1,271	1.	Simulada 3	34,589
2.	Vazões Naturais Médias	47,302	2.	Vazões Naturais Médias	36,295
3.	Ecovazão Ano Normal	67,051	3.	Ecovazão Ano Normal	71,036
4.	Simulada 1	94,362	4.	Ecovazão Ano Úmido	100
5.	Simulada 2	130,183	5.	Simulada 2	121,431
6.	Simulada 3	141,822	6.	Ecovazão Ano Seco	131,743
7.	Ecovazão Ano Seco	145,873	7.	Simulada 1	135,123

	Regime de Vazão	Pontuação		Regime de Vazão	Pontuação
1.	Ecovazão Ano Úmido	1	1.	Vazões Naturais Médias	0,805
2.	Vazões Naturais Médias	0,726	2.	Ecovazão Ano Úmido	0,801
3.	Ecovazão Ano Normal	0,558	3.	Ecovazão Ano Normal	0,55
4.	Simulada 1	0,383	4.	Simulada 1	0,284
5.	Simulada 2	0,24	5.	Simulada 3	0,202
6.	Ecovazão Ano Seco	0,222	6.	Ecovazão Ano Seco	0,146
7.	Simulada 3	0,191	7.	Simulada 2	0,11

SAW <-> SPW <-> CP2 <-> TOPSIS

Gráficos

Executar Avaliação dos Métodos

Critérios e Subcritérios

Indicadores da Alternativa

Teoria dos Métodos

Figura 68: Tela de apresentação numérica dos resultados do processamento dos métodos multicriteriais aplicados sob lógica clássica e sob lógica difusa.

É possível se avaliar os resultados da análise em forma gráfica clicando no botão "Gráficos". A tela correspondente aos resultados da análise em forma gráfica é apresentada na Figura 69.

Por fim, em várias telas do sistema pode-se consultar arquivos com a teoria dos elementos que formam a base referencial para o aplicativo construído. No caso da tela de resultados, a tela de consulta teórica é mostrada na figura 70.



Figura 69: Tela de apresentação gráfica dos resultados do processamento dos métodos multicriteriais aplicados sob lógica clássica e sob lógica difusa.

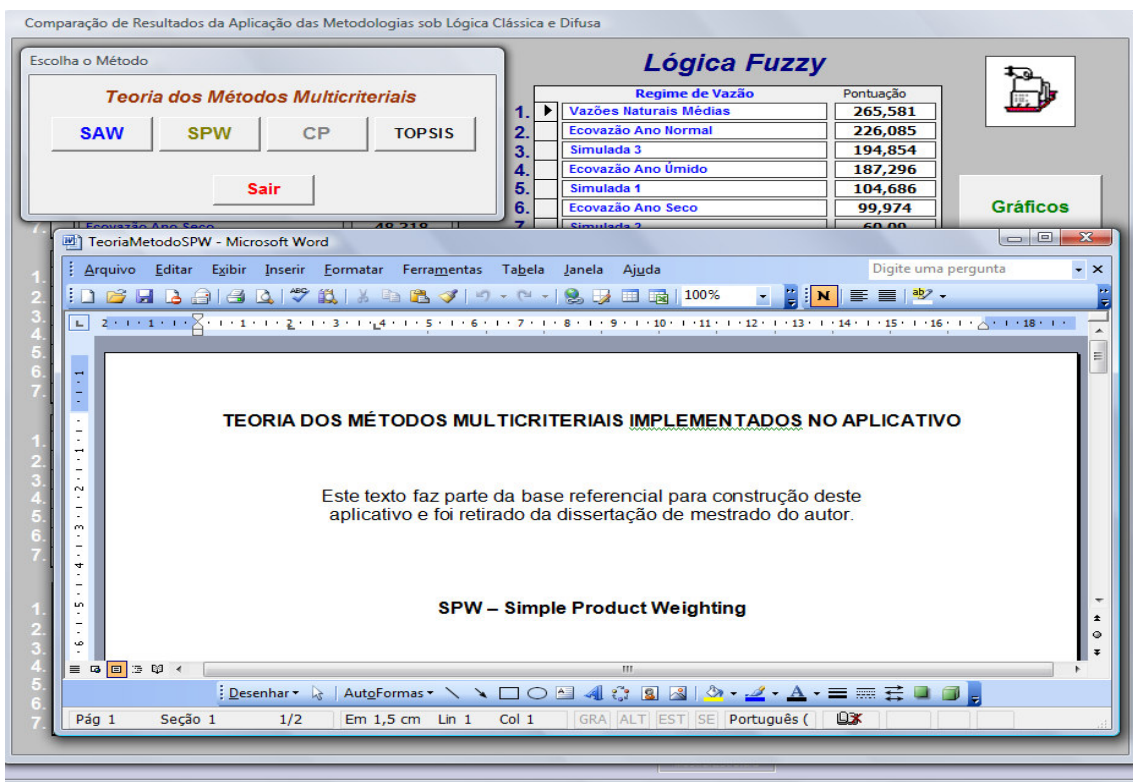


Figura 70: Janela de apresentação da teoria sobre os métodos multicriteriais estudados.

## ANEXO 1

Num	Nome da Série	Unidade	Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	Vazões Naturais em Xingó	m/s	2006	5584	5338	5825	4035	2651	1471	1392	1224	1153	1180	1785	3362
2	Evaporação Líquida em Xingó	mm/mês	2002	140	109	81	105	109	101	123	158	180	195	158	152
3	Demandas Consultivas em Xingó	m3/s	2006	102,08	106,51	50,76	120,42	120,44	118,47	119,28	141,45	157,29	114,24	86,08	57,91
4	Precipitação Média em Pão de Açúcar	mm	2006	25	28	55	53	74	76	70	42	22	11	22	60
5	Precipitação Média em Piaçabuçu	mm	2006	49	50	104	158	193	174	170	99	57	40	39	40
6	Precipitação Média em Piranhas	mm	2006	15	27	29	48	69	57	56	25	20	7	9	17
7	Produção Mensal de Pescado em Piranhas	Kg	1999	1140	1132	2330	2266	1474	1268	1478	1173	1195	1260	1952	2050
8	Produção Mensal de Pescado em Propriá	Kg	1999	2462	1271	1346	1180	1301	1165	1313	1306	1648	2149	2207	3041
9	Produção Mensal de Pescado em Penedo	Kg	1999	2299	1848	1768	1812	2086	1567	2151	1135	1648	1702	1613	1168
10	Teor de Amônia sob a Ponte de Propriá	µmol/l	2001	0,95	3,9	1,15	2,25	3,1	2,04	1,45	0,27	0,6	3,7	2,95	2,75
11	Teor de Nitrito sob a Ponte de Propriá	µmol/l	2001	0,04	0,07	0,1	0,2	0,22	0,12	0,04	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01
12	Material em Suspensão sob a Ponte de Propriá	mg/l	2001	3,2	4,5	8,8	6,6	6,8	6,9	3,9	3,1	2,4	4,1	3,6	6,4
13	Clorofila sob a Ponte de Propriá	µg/l	2001	1,4	2,1	2,4	1,1	2,1	1,1	1	0,5	0,7	0,3	0,3	1,4
14	Temperatura sob a Ponte de Propriá	°C	2001	28,2	27,4	27,3	27,7	26,6	25,9	26	26,9	27	27,6	28,3	29
15	PH sob a Ponte de Propriá	-	2001	7,4	7,4	7,9	6,5	7,3	7,3	8	7,7	7,7	8	7,3	8
16	Condutividade Elétrica sob a Ponte de Propriá	µS/cm	2001	74	70	70	73	94	104	83	71	64	76	65	128

Tabela 15: Séries de dados disponíveis para os indicadores.

Num	Obs	Referência
1	Dados obtidos com o uso modelo matemático Previvazm sobre dados históricos do O.N.S., que vão desde Janeiro de 1931 até Dezembro 2005.	Lerner (2006)
2	Dados considerados bastante relevantes porque a região possui as maiores taxas de evaporação do país.	Lerner (2006)
3	Demandas hídricas calculadas pela CHESF utilizando dados reais de demandas hídricas de diversos setores consumidores de água do período de 1931 a 2004.	Lerner (2006)
4	Dados gerados no posto 00937018 da ANA e discretizados a partir de análise de gráfico de barras.	Lerner (2006)
5	Dados gerados no posto 01696007 da ANA e discretizados a partir de análise de gráfico de barras.	Lerner (2006)
6	Valores referentes ao período de 1942 a 1999.	UFAL (2001a)
7	Foram desconsideradas as casas decimais dos valores obtidos da fonte.	UFAL (2001c)
8	Foram desconsideradas as casas decimais dos valores obtidos da fonte.	UFAL (2001c)
9	Foram desconsideradas as casas decimais dos valores obtidos da fonte.	UFAL (2001c)
10	Dados discretizados a partir de análise de gráfico de linhas suaves.	UFAL (2001b)
11	Dados discretizados a partir de análise de gráfico de linhas suaves. Valores próximos do limite de detecção.	UFAL (2001b)
12	Dados discretizados a partir de análise de gráfico de linhas suaves.	UFAL (2001b)
13	Dados discretizados a partir de análise de gráfico de linhas suaves.	UFAL (2001b)
14	Dados discretizados a partir de análise de gráfico de linhas suaves.	UFAL (2001b)
15	Dados discretizados a partir de análise de gráfico de linhas suaves.	UFAL (2001b)
16	Dados discretizados a partir de análise de gráfico de linhas suaves.	UFAL (2001b)

Tabela 16: Observações das séries de dados apresentadas na Tabela 16.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)