

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA  
COMPUTAÇÃO**

Gleiber Fernandes Royes

**Tese de Doutorado  
Plataforma Híbrida Fuzzy-Multicritério-RBC para o  
Apoio à Análise de Políticas**

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação

**Orientador:  
Prof. Rogério Cid Bastos**

Florianópolis, fevereiro de 2003

# Plataforma Híbrida Fuzzy-Multicritério-RBC para o Apoio à Análise de Políticas

Gleiber Fernandes Royes

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação - Área de Concentração: Sistemas de Conhecimento – e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação.

---

Prof. Dr. Fernando A. O. Gauhier  
Coordenador do CPGCC

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Rogério Cid Bastos  
Orientador

---

Prof. Dr. Jorge Muniz Barreto

---

Prof. Dr. Fernando A. O. Gauhier

---

Prof. Dr. Paulo Afonso B. Costa

---

Prof. Dr. Luiz Fernando J. Maia

---

Prof. Dra. Sandra A. Sandri

## AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a compreensão e incentivo de meus familiares. Meus pais, Cléber e Glebes, sempre mostraram-se prontos a ouvir e a oferecer aquela palavra de apoio indispensável para o prosseguimento do trabalho. Meu irmão Golber não apenas incentivou como se dispôs a trocar muitas idéias sobre o uso desta abordagem em áreas sociais, em administração e em recursos humanos. Meus pais e meu irmão, obrigado por existirem e por serem tão carinhosos, compreensivos e colaboradores.

Quero dedicar um especial agradecimento a minha querida esposa Liane. Já um pouco acostumada a me ver envolvido com discussões tão técnicas, desde a época do mestrado em Porto Alegre. Foi novamente minha base e companheira indispensável em todos os momentos deste trabalho, mesmo naqueles em que o cansaço e a dúvida estiverem presentes. Novamente teve que ouvir pacientemente toda aquela discussão técnica, só que agora com um suave apelo de ficção científica. Liane, muito obrigado pela paciência, incentivo e colaboração.

Outro especial agradecimento ofereço a meu orientador Rogério Cid Bastos. Primeiramente agradeço por sua acolhida e aceitação como seu orientando. Sempre que possível estimulou-me a melhorar, a ver novos caminhos e a investir na produção científica. Agradeço também ao professor Paulo Afonso B. Costa e à professora Sílvia Nassar pelas proveitosas discussões que tivemos e aos professores do curso de Sociologia Política da UFSC, Yan Carreirão e Remy Fontana pelo apoio na definição do exemplo desta tese.

Gostaria ainda de agradecer às secretárias do curso, Valdete e Verinha, por estarem sempre dispostas a ajudar, sem nunca negar um pedido, mesmo quando estavam muito ocupadas.

Ao CNPq pelo investimento em minha viagem ao Canadá para a apresentação de trabalho no *IFSA/NAFIPS Congress*. Mesmo sem estar com o curso de doutorado finalizado, compreenderam a relevância do estudo e a possibilidade de retorno deste tipo de investimento. Agradeço a visão da equipe do CNPq.

Não poderia esquecer de agradecer ao Ministério Público Federal que, através da concessão de uma licença parcial, proporcionou-me a oportunidade de uma dedicação maior aos meus estudos.

A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, meu sincero Muito Obrigado !

## RESUMO

A avaliação de cenários realizada por especialistas humanos envolve critérios cujos valores são vagos e definidos de forma imprecisa. Para exemplificar, dentro de um cenário de política de contratação de funcionários, um critério para a análise sobre a capacidade de liderança dos candidatos certamente aplicaria valores lingüísticos vagos como *Grande* ou *Pouca* para representar, de forma natural, o desempenho de cada concorrente. O especialista humano pondera e agrega os diversos critérios subjetivos de análise para chegar a uma conclusão consistente.

Este trabalho propõe uma abordagem de apoio ao processo de análise de políticas através da reunião de três metodologias básicas. O objetivo principal é estabelecer um método de auxílio diferenciado que permita a direta representação e avaliação dos critérios vagos de um problema. A arquitetura híbrida Difusa – Multicritério – Raciocínio Baseado em Casos sugere uma forma integrada de tratamento do conhecimento: Conjuntos Difusos – para a representação e manipulação do conhecimento vago; Multicritério – para a agregação do conhecimento vago e avaliação do cenário e RBC – para a recuperação deste conhecimento e aperfeiçoamento do aparato de apoio. A proposta de auxílio não se limita apenas à indicação de um melhor caminho dentre as opções disponíveis, mas sim abrange mecanismos para a simulação e exploração do cenário apresentado.

Um sistema protótipo mostra, através de alguns casos implementados, que a metodologia de auxílio pode ser útil como uma das ferramentas de análise de políticas. Além disto, a cooperação entre as metodologias Difusa – Multicritério – RBC expõe uma forma distinta e promissora de lidar com o conhecimento através da máquina que merece um aprofundamento posterior por intermédio de novas pesquisas.

**Palavras-chave:** Apoio à Tomada de Decisão, Conjuntos Difusos, Multicritério, Raciocínio Baseado em Casos, Plataforma Híbrida, Decisão Política.

## ABSTRACT

The assessment of scenarios performed by human experts involves criteria whose values are vague and imprecisely defined. For instance, in a scenario of applicant's selection, a criterion used for assessing the leadership capacity of the candidates would certainly be to use linguistic values such as *High* or *Low* to represent the performance of each applicant in a natural form. The human expert weights and aggregates the several subjective criteria to obtain a suitable conclusion.

This work suggests an approach to help on the process of political analysis by the union of three basic methodologies. The main objective is to define an integrated methodology to help the direct representation and assessment of the vague criteria for the suggested problem. The hybrid architecture Fuzzy – Multicriteria – Case-Based Reasoning proposes an integrated knowledge's treatment: Fuzzy – for the representation and manipulation of the vague knowledge; Multicriteria – for the aggregation of the vague knowledge and scenario assessment; and CBR – to recover this knowledge and to improve the help mechanism. The Fuzzy – Multicriteria – CBR help proposal is not only restricted to the indication of the best solution among the available options. It also includes mechanism simulation and exploration of the scenario presented.

Using some implemented cases, a prototype system proves that the help methodology may be useful as one of the political analysis tools. Moreover, the cooperation among the methodologies Fuzzy – Multicriteria – CBR shows a distinct and promising form to deal with knowledge using the machine. This cooperation form presented still needs further study through new investigations.

**Keywords:** Decision Making Support, Fuzzy Sets, Multicriteria, Case-based Reasoning, Hybrid Platform, Political Decision.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações Iniciais	1
1.2	Identificação do Problema	4
1.3	Objetivos	5
1.4	Importância	7
1.5	Limitações	8
1.6	Estrutura do Trabalho	9
2	ANÁLISE DE OUTRAS ABORDAGENS E A ARQUITETURA DA METODOLOGIA PROPOSTA	11
2.1	Outras Abordagens	12
2.2	A Arquitetura da Metodologia Proposta	16
3	MÓDULOS DA METODOLOGIA PROPOSTA	24
3.1	Módulo Difuso	24
3.1.1	Tratamento de Incerteza em Tomada de Decisão	25
3.1.2	Aplicação de Conjuntos Difusos em Tomada de Decisão	27
3.1.3	Estrutura do Módulo Difuso	31
3.2	Módulo Multicritério	41
3.2.1	Visão Inicial	41
3.2.2	O Modelo Topsis e as Adaptações Propostas	46
3.2.3	A Implementação do Módulo Multicritério da Metodologia	56
3.3	Módulo Raciocínio Baseado em Casos (RBC)	61
3.3.1	Introdução sobre RBC	62
3.3.2	RBC com Dados Difusos	66
3.3.3	Estrutura do Módulo RBC	68
4	FUNCIONAMENTO DA METODOLOGIA ATRAVÉS DE UM EXEMPLO PRÁTICO	80
4.1	Descrição do Problema	81
4.2	Descrição Detalhada do Cenário	86

4.2.1 Critérios de Avaliação para o Pleito Presidencial de 2002	88
4.2.2 Escala de Pesos para os Critérios	94
4.2.3 Os Pesos de Importância Estipulados para cada Critério	96
4.2.4 As Alternativas para o Exemplo das Eleições	97
4.2.5 A Definição da Matriz de Decisão Difusa	98
4.3 O Cálculo Multicritério	101
4.4 Conclusões sobre o Exemplo Proposto	107
4.5 Análise de Sensibilidade e Recuperação de Casos Passados	109
4.6 Outras Aplicações	114
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	116
5.1 Conclusões	116
5.2 Recomendações	119
Apêndice – 1 Ciclo Básico RBC e Mecanismo de Indexação	123
A1.1 Ciclo Básico RBC	123
A1.2 Indexação	125
Apêndice – 2 Funções de Pertinência Disponíveis no Módulo Difuso	128
Apêndice – 3 Os Valores Difusos Definidos para cada um dos Critérios do Exemplo Prático das Eleições	136
Apêndice – 4 Artigos Publicados	146
Referências Bibliográficas	188



## LISTA DE FIGURAS

Figura – 2.1	Representação modular da abordagem inteligente híbrida	19
Figura – 2.2	Seqüência exibindo os passos fundamentais no processo de avaliação de uma política, através da abordagem proposta	21
Figura – 2.3	Esquema de funcionamento da abordagem	22
Figura – 3.1	Tipos de Incerteza	26
Figura – 3.2	Estrutura de Projetos, Casos e Critérios	33
Figura – 3.3	A interface do Módulo Difuso com a definição dos conjuntos de um critério	34
Figura – 3.4	Concentração (expoente = 4) aplicada ao conjunto “Alta”	35
Figura – 3.5	Dilatação (expoente = 0,25) aplicada ao conjunto “Alta”	35
Figura – 3.6	Interface do Módulo Difuso com a definição dos Pesos	38
Figura – 3.7	Função Sino definida para o conjunto difuso <i>MediaAlta</i>	39
Figura – 3.8	Passos básicos referentes ao Módulo Difuso	40
Figura – 3.9	Esquema de funcionamento do Módulo Difuso	40
Figura – 3.10	Passos básicos do Módulo Multicritério (modelo Topsis modificado)	54
Figura – 3.11	Esquema de funcionamento do Módulo Multicritério	55
Figura – 3.12	A interface para a montagem da Matriz de Decisão	57
Figura – 3.13	A interface para a definição dos pesos dos critérios	58
Figura – 3.14	A interface para a definição das Soluções Ideiais Positiva e Negativa	59
Figura – 3.15	Módulo de análise de resultados da solução multicritério	60
Figura – 3.16	Interface do Módulo RBC	73
Figura – 3.17	Informações sobre um caso similar recuperado no exemplo das eleições	75
Figura – 3.18	Passos básicos no Módulo RBC	77
Figura – 3.19	Esquema de funcionamento do Módulo RBC	78
Figura – 4.1	Os onze critérios aplicados para a avaliação das possibilidades eleitorais dos candidatos à eleição presidencial	93
Figura – 4.2	Conjuntos difusos representando a escala de pesos lingüística para	

	o exemplo das eleições	96
Figura – 4.3	Recurso para a definição dos desempenhos dos candidatos	100
Figura – 4.4	Ordenamento final dos candidatos através da interface principal do módulo multicritério	107
Figura – 4.5	Análise de Sensibilidade realizada através do candidato <i>Ciro</i>	110
Figura – 4.6	Recuperação de eleição passada via módulo RBC	112
Figura – 4.7	Informações sobre o caso recuperado ( <i>Eleição Presidencial de 1994</i> )	113
Figura – A1.1	Ciclo Básico RBC	125
Figura – A2.1	Função Triangular	128
Figura – A2.2	Função Trapezoidal	129
Figura – A2.3	Função Gamma	129
Figura – A2.4	Função Tipo L	130
Figura – A2.5	Função Sino	131
Figura – A2.6	Função S	131
Figura – A2.7	Função Z	132
Figura – A2.8	Função Singleton	132
Figura – A2.9	Função Geométrica para $a=10$ e $b=50$	134
Figura – A2.10	Função Geométrica para $a=-10$ e $b=50$	134
Figura – A2.11	Função Geométrica modificada	135
Figura – A3.1	Funções de pertinência para valores lingüísticos do critério <i>Organização do Partido</i>	137
Figura – A3.2	Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério <i>Índice de Rejeição</i>	137
Figura – A3.3	Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério <i>Identificação Popular com Partido</i>	138
Figura – A3.4	Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério <i>Honestidade do Candidato</i>	139
Figura – A3.5	Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério <i>Competência do Candidato</i>	140
Figura – A3.6	Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério <i>Tempo de Horário Gratuito</i>	141

Figura – A3.7	Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério <i>Investimentos em Campanha</i>	141
Figura – A3.8	Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério <i>Risco para a Estabilidade Econômica</i>	142
Figura – A3.9	Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério <i>Empatia com o Eleitorado</i>	143
Figura – A3.10	Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério <i>Tratamento da Mídia</i>	144
Figura – A3.11	Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério <i>Posicionamento em relação ao governo</i>	145

## LISTA DE TABELAS

Tabela – 2.1	Comparativo entre abordagens para apoio à análise de políticas	16
Tabela – 3.1	Matriz de Decisão MCDM	45
Tabela – 3.2	Diferenças entre a proposta <i>Fuzzy Topsis</i> e a abordagem desta tese	56
Tabela – 3.3	Base de casos com dados difusos	68
Tabela – 4.1	A descrição dos conjuntos difusos que compõe a escala de pesos com suas respectivas funções de pertinência	95
Tabela – 4.2	Os pesos lingüísticos definidos para cada um dos critérios	97
Tabela – 4.3	A Matriz de Decisão Difusa para o exemplo das eleições	99
Tabela – 4.4	Perfis (Soluções) Ideais Positivo e Negativo	102
Tabela – 4.5	Matriz de Decisão Difusa Ponderada $\tilde{V}_{4 \times 11}$ para os candidatos	105
Tabela – 4.6	Distâncias de desempenho dos candidatos em relação aos perfis ideais	106
Tabela – 4.7	Os índices de desempenhos agregados finais para os quatro candidatos juntamente com as classificações	106
Tabela – 4.8	Ordenamento final dos candidatos através da interface principal do módulo multicritério	107
Tabela – A3.1	Valores lingüísticos para o critério <i>Organização do Partido</i>	136
Tabela – A3.2	Valores lingüísticos para o critério <i>Índice de Rejeição</i>	137
Tabela – A3.3	Valores lingüísticos para o critério <i>Identificação Popular com Partido</i>	138
Tabela – A3.4	Valores lingüísticos referentes ao critério <i>Honestidade do Candidato</i>	139
Tabela – A3.5	Valores lingüísticos referentes ao critério <i>Competência do Candidato</i>	139
Tabela – A3.6	Valores lingüísticos referentes ao critério <i>Tempo de Horário Gratuito</i>	140
Tabela – A3.7	Valores lingüísticos para o critério <i>Investimentos em Campanha</i>	141
Tabela – A3.8	Valores lingüísticos referentes ao critério	

<i>Risco para a Estabilidade Econômica</i>	142
Tabela – A3.9 Valores lingüísticos referentes ao critério <i>Empatia com o Eleitorado</i>	143
Tabela – A3.10 Valores lingüísticos referentes ao critério <i>Tratamento da Mídia</i>	143
Tabela – A3.11 Valores lingüísticos referentes ao critério <i>Posicionamento em relação ao governo</i>	144

# **1 Introdução**

## **1.1 Considerações Iniciais**

O uso de técnicas de Inteligência Computacional no apoio à decisão tem apresentado uma grande expansão nas últimas décadas, principalmente no desenvolvimento de sistemas computacionais especialistas em áreas já tradicionais como Medicina, Engenharia e Finanças. Estes sistemas buscam apoiar a decisão humana em uma atividade específica, através da aplicação de um método de inteligência computacional ou através da combinação de vários destes métodos, tendo como resultado a produção de sistemas híbridos (LI, 2000; EL-WAHED & ABO-SINNA, 2001; KUO, 2001; ROYES & BASTOS, 2002), como por exemplo, sistemas Difusos-Conexionistas, Difusos-Conexionistas-Genéticos e Conexionistas-Simbólicos. Uma vantagem substancial de sistemas híbridos relaciona-se com a possibilidade de se combinar o potencial de cada um dos paradigmas, beneficiando-se das vantagens que cada metodologia oferece (muitas vezes, a resolução de um problema não é satisfatoriamente obtida através da aplicação de um só método).

A aplicação da computação como auxílio à decisão através de abordagens inteligentes, não como substituição à solução criativa e ao conhecimento humano, mas como apoio qualificado e cada vez mais indispensável no atual estágio da sociedade deste século, é um dos estímulos fundamentais para a proposta deste trabalho.

Neste sentido, a generalidade característica da abordagem proposta nesta tese permite a extensão do auxílio computacional inteligente a campos pouco explorados na área de inteligência computacional, como por exemplo: em Ciência Política, em Políticas Públicas e em Ciências Sociais. Um dos grandes incentivos para o desenvolvimento deste trabalho foi a observação de que existe uma forte carência de metodologias genéricas integradas para o auxílio na análise e implementação de políticas. Outro fator é que raramente estes métodos genéricos de apoio à decisão política utilizam técnicas de Inteligência Computacional. Um dos pontos centrais deste

trabalho é justamente a proposição de uma forma híbrida consistente de assistência. A combinação de métodos sugerida para atender ao problema de avaliação de políticas fez surgir uma forma diferenciada para o tratamento do conhecimento.

A abordagem de apoio sugerida permite ao usuário explorar situações dentro de seu plano/projeto, verificar caminhos (alternativas) mais promissores na resolução de seu problema, prever situações, avaliar cenários complexos compreendendo situações de incerteza e subjetividade, verificar possibilidades de melhoria em alternativas escolhidas e ter uma visão mais detalhada do cenário que compõe seu problema.

Nas últimas décadas, surgiram técnicas de inteligência em computação que se inspiram no estilo de raciocínio humano (Conjuntos Difusos (ZADEH, 1965) e Raciocínio Baseado em Casos (KOLODNER, 1993; LEAKE, 1996)) ou que se inspiram na natureza (Redes Neurais e Computação Evolucionária) para ampliar e melhorar a forma de tratamento do conhecimento através da máquina. Neste sentido, a produção de métodos inteligentes híbridos busca combinar aspectos (combinar forças) de algumas técnicas com a meta de elaborar aplicações que realmente possam lidar com o mundo real (que manipulem e explorem diretamente a incerteza e a imprecisão presentes em situações reais e que aprendam com a experiência adquirida), gerar aplicações mais flexíveis (manipulação da verdade parcial) e, em resumo, que sejam mais próximas do conceito de “inteligência”. O conceito de inteligência é amplamente discutido por muitos autores e não há uma unanimidade sobre o seu real significado. Alguns destes conceitos de inteligência, propostos por importantes pesquisadores, são apresentados abaixo:

“Inteligência é julgar bem, compreender bem, raciocinar bem” – *Binet*

“Inteligência refere-se à capacidade de adaptação ao ambiente físico e social” – *Piaget*

“A capacidade de conceituar e compreender o seu significado” – *Tearmen*

A este tipo de computação mais próxima das exigências e características do mundo real está-se atribuindo o termo *Soft Computing* (um maior detalhamento sobre

esta nova terminologia pode ser observado nos trabalhos de Jang (JANG et al, 1997) e Kecman (KECMAN, 2001)). Diz-se que as abordagens híbridas que combinam estas técnicas têm proporcionado um significativo aumento no Quociente de Inteligência das Máquinas (*QIM*).

Adicionalmente, a técnica conhecida como RBC (Raciocínio Baseado em Casos) também pode ser enquadrada como uma das ferramentas de *Soft Computing*, já que também é inspirada na forma de raciocínio humano, na forma humana de adquirir e lidar com o conhecimento, através da análise de situações passadas análogas como recurso para solucionar novos problemas. Esta técnica proporciona à máquina uma forma de aprendizado cumulativo, através da aquisição de novos casos.

Existe uma ampla diversidade de arcabouços difusos (algumas comerciais como o MATLAB Fuzzy Logic Toolbox e outros acadêmicos como a ferramenta UNFUZZY proposta por Duarte (DUARTE, 1998)) e também RBC (como CBR-Works (SCHULZ, 1999) e Design-MUSE (DOMESHEK & KOLODNER, 1994)) disponíveis para o apoio à tomada de decisão, entretanto, raramente estes sistemas combinam mais de uma metodologia inteligente em um mesmo ambiente computacional integrado. Estes tipos de sistemas são bastante úteis, pois implementam os mecanismos básicos para a aplicação prática destas metodologias, entretanto, boa parte destes limita-se a oferecer uma resposta final, ou indicação de caminho, a partir do problema descrito pelo usuário.

Abordagens mais completas devem dispor recursos que facilitem outras etapas do processo de decisão, principalmente quanto à simulação e acompanhamento de cenários e quanto à análise mais detalhada dos resultados. A resposta final, neste tipo de mecanismo, é obtida de forma progressiva, já que muitas vezes o processo de análise do problema é tão ou mais importante do que o próprio indicativo de solução. Neste aspecto, uma metodologia genérica foi proposta por Bana e Costa (BANA E COSTA et al, 1999). O ambiente sugerido reúne a aplicação de quatro sistemas de apoio à decisão em uma plataforma unificada. A idéia desta integração foi apresentar uma abordagem mais completa para a tomada de decisão, contrastando com ferramentas isoladas usadas para resolver problemas de decisão bem definidos. O capítulo seguinte discute em maiores detalhes esta abordagem. Outra proposta é o ambiente comercial *Policymaker* (REICH & COOPER, 1997). Esta abordagem é aplicada para a avaliação e



implementação de políticas em geral. *Policymaker* mantém um grupo organizado de ferramentas que proporciona uma análise rigorosa do cenário que envolve um plano ou projeto. O ambiente também permite a simulação das chances futuras para a implantação de uma certa política, através da modificação nos valores de atributos relativos aos atores do cenário e/ou através da transposição de certos obstáculos. O próximo capítulo desta tese oferece maiores detalhes sobre estes tipos de abordagens e apresenta uma comparação relativa à metodologia híbrida aqui sugerida.

## **1.2 Identificação do Problema**

O processo de decisão sobre a escolha de políticas não raramente envolve contextos complexos. O termo “complexo” deve-se a diversos aspectos, como o grande número de variáveis de análise da situação (múltiplas dimensões de análise), devido à informação vaga e subjetiva disponível, pelo grande número de alternativas a serem avaliadas e devido à natureza dinâmica da evolução do cenário em avaliação (cenários políticos evoluem, por exemplo, pela mudança de opinião de atores ou pela alteração no peso de importância de algum fator de análise).

Estes cenários usualmente são explorados de forma precária, já que as ferramentas de análise, quando disponíveis, desprezam, ou procuram inadequadamente reduzir a informação incerta que é chave para a solução destes problemas. O caminho correto para a avaliação de políticas está no tratamento e manipulação direta desta incerteza.

Também verifica-se que boa parte das ferramentas de apoio existentes volta-se a uma etapa específica no processo de decisão. Neste sentido, podem ser aplicadas como recurso de análise isolado, entretanto, usualmente não oferecem metodologias que, ao mesmo tempo, permitam estruturar o problema, explorar seus diversos aspectos, acompanhar sua evolução, apontar caminhos mais promissores, recuperar situações passadas análogas que possam inspirar novas soluções, melhorar seu desempenho através de algum mecanismo de aprendizado. O problema a ser tratado é justamente a precariedade das abordagens de avaliação de políticas disponíveis e, logicamente, as consequências advindas da proposição de uma abordagem integrada de apoio.

### 1.3 Objetivos

O objetivo principal desta tese é oferecer uma metodologia de auxílio para a avaliação de políticas, ou seja, buscar avaliar a adequação de diferentes alternativas (propostas) de solução dentro de um contexto político. É importante enfatizar que o termo “política” aplicado aqui refere-se ao uso comum no campo da disputa eleitoral e dos partidos políticos, mas também a todo o espectro de situações que envolvam uma série de diretrizes, critérios, objetivos e restrições que revelam uma situação política a ser avaliada. Estes critérios, objetivos e diretrizes podem se referir à implementação de políticas públicas na área de saúde, no setor educacional, na área de relações exteriores, de transportes ou mesmo de meio ambiente. Podem também sugerir uma política privada, por exemplo, referindo-se aos objetivos de uma certa empresa no lançamento de um novo produto, na contratação de um novo executivo ou na decisão sobre que tipo de política de investimentos deve ser adotada pela empresa. Estes poucos exemplos servem como um demonstrativo inicial da diversidade de usos para a metodologia de apoio à decisão que se propõe nesta tese. Os critérios de avaliação, compostos por objetivos e restrições, traduzem algum tipo de política, qual seja ela pública, privada, social ou econômica. A metodologia propõe um ambiente para a simulação e avaliação das opções (alternativas de solução) disponíveis dentro da política definida pelo próprio Tomador de Decisão, dentro de seu campo de atuação. Diferente de outros trabalhos, a proposta não é um sistema especializado em apoio a uma tarefa específica.

Além da inovação proposta pela abordagem genérica híbrida desta tese para a avaliação de políticas, alguns objetivos específicos no desenvolvimento deste trabalho devem ser destacados (o detalhamento destes itens será realizado nos capítulos seguintes):

- Tratar a incerteza (de forma mais específica, a vagueza e a informação qualitativa) no processo de avaliação de políticas.

- Analisar individualmente a contribuição de cada abordagem para atingir o objetivo principal, ou seja, de que forma auxiliam na construção da metodologia de apoio.
- Dotar a metodologia de um recurso de aprendizado para incrementar o nível de apoio proposto. A aquisição de conhecimento é realizado por um mecanismo de Raciocínio Baseado em Casos que será detalhado em um capítulo posterior.
- Manter históricos detalhados sobre cenários passados com o intuito de servir como inspiração para a análise de novas situações análogas.
- Vislumbrar a possibilidade de aplicação desta abordagem em áreas pouco exploradas, não tradicionais, por mecanismos de computação inteligentes como política e ciências sociais. Sistemas especialistas nestes domínios não são comuns possivelmente pela forte presença do fator humano que inibe especialistas destas áreas a confiarem em ambientes computadorizados de análise.
- Gerar uma forma distinta para o tratamento do conhecimento, aplicando o tratamento da incerteza em paralelo com o raciocínio e análise por analogia.
- Proporcionar, como opção de modelagem, a representação de modificadores lingüísticos sobre conceitos difusos definidos, principalmente para expressar conceitos extremos. Com esta opção, as opções de representação são aumentadas.
- Quanto ao aspecto de implementação, sugerir recursos de interface amigáveis com o usuário, de modo a ampliar a produtividade na utilização do ambiente e montar uma base de dados única que mantenha de forma organizada todas as informações relacionadas aos projetos (políticas) do Tomador de Decisão, desde as informações imprecisas sobre os conjuntos difusos dos critérios e pesos até os dados sobre ocorrências passadas que formam a base de casos.

- Demonstrar o potencial da abordagem proposta através de um exemplo prático que possui todas as características básicas de um problema tratável através desta metodologia sugerida.

#### **1.4 Importância**

Uma constatação obtida pela análise do estado da arte na área da tomada de decisão mostrou que existem algumas ferramentas especializadas que aplicam isoladamente técnicas inteligentes de apoio para atividades específicas, normalmente para atender a uma única etapa, dentro do processo de decisão (KWAHK & KIM, 1999; CHANG & YEH, 1998), entretanto, são raras as abordagens que auxiliam o Tomador de Decisão (TD) nos diversos passos deste processo e que pode ser aplicadas em diferentes domínios.

A maior contribuição deste trabalho é justamente a definição e implementação de uma metodologia híbrida, integrada, que mostra uma abordagem inovadora no campo de apoio à decisão. Estas contribuições não foram geradas, em um primeiro momento, de forma exclusiva para esta tese. Na verdade, são fruto do trabalho científico desenvolvido em algumas publicações (ROYES et al, 2001; ROYES & BASTOS, 2001a; ROYES & BASTOS, 2001b; ROYES & BASTOS, 2001c; ROYES & BASTOS, 2002) que culminaram com a sugestão desta abordagem.

A integração de técnicas mostra um caminho promissor no auxílio à decisão, uma vez que não limita-se apenas a um dos momentos do processo. A assistência continuada oferecida permite que simulações complexas de cenários sejam realizadas a um custo e esforço reduzidos.

Metodologias qualificadas de auxílio para o processo de decisão, principalmente em cenários complexos, são essenciais para uma exploração mais completa do problema. A intuição do especialista humano é sempre necessária, mas aliada a uma metodologia computacional inteligente de apoio pode-se aumentar consideravelmente o poder de simular e de prever soluções mais favoráveis, mesmo em contextos onde a informação subjetiva é preponderante.

A composição destas metodologias em uma abordagem unificada sugere um recurso que assemelha-se à formulação do raciocínio humano aplicado à decisão. A manipulação direta da incerteza (problemas reais lidam com este tipo de informação) e o raciocínio baseado em experiências passadas (através de analogias) fazem parte do processo cognitivo humano na tentativa de solucionar um problema. Estes mecanismos são intuitivamente aplicados em paralelo, logo, a simulação destes processos em conjunto configura-se um caminho promissor para o apoio à decisão.

Esta combinação de abordagens (Conjuntos Difusos + Multicritério + RBC) é ainda pouco explorada e a análise desenvolvida neste trabalho indica que resultados positivos podem ser obtidos em um dos tipos mais usuais de problemas: o processo de decisão. Um método diferenciado de tratamento do conhecimento é proposto como uma das contribuições no campo teórico.

## **1.5 Limitações**

Alguns pontos devem ser destacados sobre a abrangência deste trabalho, mostrando alguns possíveis aspectos para melhoria e limitações existentes na proposta atual:

- O objetivo, já enfatizado, desta abordagem genérica é o apoio à decisão em política quando as informações disponíveis são vagas, imprecisas, em cenários cuja descrição é subjetiva. Logicamente que, quando se dispõe de informações precisas e objetivas, e existe solução matemática ou algorítmica conhecida (o que usualmente não é comum em problemas reais sobre decisão em política), não há maior significado prático em representar o cenário através desta solução.
- O módulo de Raciocínio Baseado em Casos possui atualmente algumas limitações no protótipo proposto, como a falta de um mecanismo para importação de casos e a falta de um mecanismo mais automatizado para a adaptação de soluções (atualmente este mecanismo é dependente da intervenção manual do TD).

- A metodologia mostrou resultados satisfatórios, ou seja, foi muito útil na análise detalhada de cenários, para alguns problemas de análise de política sugeridos. Entretanto, seria importante sua aplicação prática em outros domínios. Desta forma, poder-se-ia identificar novos pontos de melhoramento da abordagem na atividade de auxílio ao Tomador de Decisão.
- Outras formas de agregação dos valores de desempenho das políticas devem ser futuramente analisadas como alternativa para a solução via distâncias de soluções ideais.
- O TD pode utilizar um recurso importante disponível no ambiente para manter o histórico de evolução do cenário do problema. Entretanto, o atual protótipo limita-se a apresentar textualmente estas informações. Uma interface gráfica visual da evolução deste histórico certamente melhoraria a comunicação com o TD sobre detalhes importantes do processo.
- O protótipo é a implementação prática da abordagem sugerida. Sua implementação é a prova material de que as idéias e propostas teóricas de solução contidas nesta tese são viáveis na prática. Como o próprio termo “protótipo” sugere, este sistema é apenas um modelo de implementação. Apesar de ser um ambiente completamente funcional, e que atende aos fundamentos de auxílio propostos, diversos aperfeiçoamentos poderiam ser acrescentados com investimentos em um projeto que envolvesse pesquisadores, por exemplo, da área de bancos de dados e de computação gráfica.

## **1.6 Estrutura do Trabalho**

Na seqüência desta Tese, o Capítulo – 2 apresenta uma discussão sobre diferentes abordagens aplicadas no processo de análise de políticas em comparação com a arquitetura que representa a abordagem proposta nesta tese. O Capítulo – 3 mostra detalhes sobre a metodologia sugerida através da apresentação de seus três módulos principais. É destacado o objetivo de cada módulo dentro do objetivo principal desta

abordagem. O Capítulo – 4 exibe um exemplo completo de aplicação real cujo objetivo é não apenas mostrar, na prática, o processo de funcionamento desta metodologia, mas também demonstrar como um problema não usual para a área de Inteligência Computacional (IC) pode ser explorado através desta solução. Na aplicação exemplo, explora-se os passos principais no processo de análise, desde a definição inicial do cenário político, até a indicação da alternativa mais promissora e exploração de cenários passados similares. O Capítulo – 5 é dedicado à apresentação de algumas conclusões importantes e à discussão de recomendações e futuros aperfeiçoamentos. Os apêndices desta Tese fornecem informações complementares, abrangendo conceitos sobre Raciocínio Baseado em Casos, as funções de pertinência disponíveis no módulo difuso e as funções usadas no exemplo do Capítulo – 4, além dos cinco artigos científicos que deram origem a este trabalho.

## **2 Análise de Outras Abordagens e a Arquitetura da Metodologia Proposta**

O problema de análise de políticas, como em muitos problemas de tomada de decisão, requer uma cuidadosa descrição do cenário, ou seja, quais elementos participam do processo: atores envolvidos (entidades, pessoas ou organizações), objetivos a atingir, obstáculos a ultrapassar, a real importância de cada aspecto de análise e alternativas (estratégias) de ação. Descrever adequadamente o cenário significa traduzir e compreender a real situação do problema político em avaliação por seus diferentes aspectos e necessidades. Diferentes abordagens, como as que serão discutidas na próxima seção sugerem algum tipo de mecanismo para descrever estes cenários. Algumas destas abordagens mostram-se positivas no sentido de prover recursos para o detalhamento de situações políticas específicas via descrição de atores, obstáculos, objetivos e critérios de análise. Boa parte destas metodologias encarrega-se da tarefa central de descrição de cenário, mas perde o foco sobre qual o tipo de informação disponível para este processo de análise. O tratamento da informação imprecisa é, quando muito, confundida com a incerteza derivada da aleatoriedade que não é a fonte de incerteza em decisão política.

Outro ponto a considerar em problemas de análise política é que o conhecimento de especialistas é adquirido com a experiência acumulada em diversas situações vivenciadas no passado. Problemas novos são comparados com outros experimentados em ocasiões passadas. Esta comparação, se não traz a direta solução do novo problema, mostra caminhos, alerta sobre soluções ou ações negativas e pode ajudar a lembrar como foi o resultado prático da implementação de uma estratégia política em uma situação passada análoga. Portanto, abordagens de apoio ao processo de decisão política devem oferecer recursos que, além de descreverem cenários através da informação imprecisa, aproveitem e recuperem adequadamente situações passadas análogas que possam ser comparadas com o novo problema.



As metodologias apresentadas na seção seguinte ilustram alguns das principais classes de abordagens aplicadas ao apoio à análise política. O objetivo é mostrar a filosofia básica de cada uma, suas deficiências, pontos positivos e fornecer um comparativo em relação à metodologia diferenciada sugerida nesta tese.

## **2.1 Outras Abordagens**

Diferentes abordagens estão disponíveis na literatura com o objetivo de apoiar o processo de análise de políticas. Algumas metodologias são especificamente direcionadas para o apoio à decisão em política e outras são de aplicação mais genérica no processo decisório. Usualmente, estas abordagens são aplicadas em domínios específicos, ou seja, são elaboradas com recursos e informações de um campo de estudo bem delimitado e possivelmente já bem conhecido.

Entretanto, existem outros modelos, como o proposto neste trabalho, que procuram atender diferentes domínios. Como a decisão política é comum em áreas bastante distintas, uma abordagem de apoio à decisão em política deve ser suficientemente genérica para explorar cenários diversos. Antes de apresentar detalhes sobre a metodologia de apoio sugerida nesta tese, uma análise prévia é oferecida sobre outros tipos de abordagens que são aplicáveis no processo de exploração de políticas.

A primeira destas abordagens é a solução multicritério determinística. Diferentes métodos multicritério determinísticos podem ser encontrados na literatura como WPM, AHP ou Topsis (TRANTAPHYLLOU, 2000). Cada um destes com propostas diferenciadas de implementação, mas basicamente com o mesmo tipo de abordagem, qual seja, o de indicar a mais promissora das políticas (a alternativa ótima) com base na avaliação quantitativa de importantes critérios. Métodos multicritério são aplicados para o apoio à decisão em geral, inclusive no processo de decisão política. Especificamente neste último aspecto, que é o de interesse neste trabalho, modelos multicritério determinísticos podem ser úteis na exploração do cenário, auxiliando no processo de identificação de critérios de avaliação de políticas e na indicação de qual destas políticas pode ser a mais promissora. Este auxílio representa parte do processo de apoio desejado, entretanto, existe um forte limitador. O recurso de análise sugerido em modelos

multicritério determinísticos não leva em consideração um fator que é chave para a decisão política: a informação incerta. A falta da manipulação da incerteza derivada da informação lingüística representa uma precária representação de cenários reais em análise política. Neste processo, a disponibilidade de informação exata é incomum (situações de análise política reais envolvem alto grau de imprecisão), o que torna inviável ou improdutivo a aplicação deste tipo de abordagem como recurso.

A exploração do cenário descrito é limitado, uma vez que cenários passados não são aplicados como recurso de simulação e de análise para uma nova situação. Explorar um novo cenário político usando um método multicritério isolado significa fazer um novo levantamento detalhado de critérios e de pesos destes critérios, mesmo que já se tenha experiência passada similar que poderia servir como auxílio tanto no processo de definição do novo cenário como em sua posterior simulação.

Outra abordagem, proposta por Reich e Cooper (REICH & COOPER, 1997) através do ambiente *Policymaker*, busca realizar análises criteriosas de cenários políticos através da definição de metas, jogadores (atores), oportunidades, obstáculos e estratégias. Esta abordagem permite que se observe em detalhe a evolução do cenário à medida que se superam obstáculos, mudam-se posições de jogadores ou que alteram-se estratégias de ação. A metodologia é útil quanto ao aspecto de observação dos diferentes aspectos que influenciam uma situação e disponibiliza formas atrativas de interação para a simulação de diferentes cenários. Este é realmente seu ponto forte. Tentar prever a evolução de um cenário a cada pequena alteração, ou seja, o quanto se aproximou das metas de uma política observada uma mudança deste cenário.

Entretanto, a abordagem peca pela falta de um mecanismo para o aproveitamento de situações passadas análogas. Não existe o comparativo com cenários passados que poderia inspirar uma alteração eficaz no cenário atual com o intuito de se alcançar as metas estabelecidas. Caminhos, ações passadas efetivas, poderiam ser adaptadas como solução para a realização da política pretendida. A metodologia sugerida é estanque, ou seja, não aprende, não melhora com a experiência dos casos vividos. A previsão de sucesso da política é apenas baseada no conhecimento atual que se tem do tipo de cenário.

O método *Analytica* (MORGAN & HENRION, 1998) propõe uma forma diferenciada de análise via gerenciamento de complexidade, colaboração entre equipe de analisadores e tratamento de incerteza via modelo probabilístico. Autores defendem que modelos de apoio não devem ser caixas-pretas, de difícil interpretação, mas sim devem fornecer mecanismos de comunicação de alto nível com o Tomador de Decisão. Dois pontos-chaves do método são a ênfase na interatividade com o Tomador de Decisão e o tratamento de incerteza via abordagem probabilística, no caso, via distribuições de probabilidades para variáveis de análise importantes. A incerteza no modelo é justamente representada por estas distribuições de probabilidade. Modelo *Analytica* também sugere uma estrutura hierárquica de variáveis como recurso para redução de complexidade, principalmente em situações que envolvam grande número de fatores de análise. Simulações sobre o cenário montado é permitido através do refinamento das variáveis de análise.

Esta metodologia possui algumas características úteis como a possibilidade de trabalho cooperativo entre Tomadores de Decisão e a hierarquização de problemas complexos, entretanto sugere uma forma de tratamento de incerteza que se contrapõe com o tipo real de incerteza presente em problemas de análise de políticas. Não é a natureza aleatória, a incerteza derivada do risco, a principal fonte de incerteza que se observa neste processo de decisão política. O principal foco é a incerteza gerada pela vagueza e imprecisão de termos e conceitos aplicados no tipo de raciocínio aproximado que é o fundamento para a obtenção de conclusões nesta área. O tipo de conhecimento disponível para avaliação é de natureza imprecisa. Sabe-se que determinado evento ou conceito é observado e a incerteza está justamente em se precisar o quanto deste conceito realmente está presente. O tratamento probabilístico proposto no modelo *Analytica* não lida com a fonte principal de incerteza.

A abordagem de Bana e Costa (BANA e COSTA et al, 1999) conjuga um método multicritério de análise (Macbeth (BANA e COSTA & VANSNICK, 1994)) com um grupo de recursos para a exploração detalhada de cenários. O objetivo principal é a compreensão progressiva de problemas de decisão mal estruturados e não a solução de problemas já bem conhecidos. A metodologia sugere apoio a etapas de estruturação e avaliação interativa de cenários. O exemplo base desta abordagem lida com a avaliação de estratégias de produção para indústrias têxteis. Através de uma abordagem

multicritério indica-se, do conjunto de estratégias, qual a que pode trazer resultados mais promissores.

Esta abordagem possui como principal benefício a identificação detalhada dos critérios (“pontos de vista fundamentais” na terminologia deste método) que realmente descrevem a situação de um política. Entretanto, uma lacuna apresentada por esta metodologia é a não manipulação direta da incerteza existente neste processo de avaliação de estratégias. Escalas quantitativas são montadas interativamente pelos próprios Tomadores de Decisão para a definição de pesos de critérios e para a comparação sobre preferências entre estratégias. O processo de montagem destas escalas é cuidadoso e gradual, entretanto não leva em consideração a informação vaga e imprecisa que norteia a decisão política. Outro ponto a considerar é que processos de análise similares já realizados no passado não são aplicados como recurso para aumentar o conhecimento sobre o tipo de política a ser explorada. Todo um estudo anterior valioso, com um cenário análogo, é desprezado quando poderia reduzir o esforço de compreensão sobre um novo problema apresentado (a abordagem não sugere um processo de aprendizado incorporado).

Outra sugestão de metodologia para a análise de políticas combina a abordagem de conjuntos difusos para o tratamento de incerteza com métodos multicritério de avaliação. Modelos Difusos Multicritério como *Fuzzy Topsis* (CHEN, 2000) e *Fuzzy AHP* (BOENDER, 1989) podem ser aplicados como recursos importantes para a definição e exploração de cenários políticos baseados em informação lingüística imprecisa. Cada modelo apresenta uma solução diferenciada quanto ao processo de definição de cenários (em relação à definição de pesos de critérios e desempenho de alternativas), entretanto a filosofia básica é a mesma: permitir que a informação incerta sobre pesos e desempenhos de alternativas seja diretamente representada por conjuntos difusos. Esta combinação mostra-se efetiva no processo inicial de análise, tratando a informação incerta disponível e, com base na avaliação e agregação destas informações, indicando a política ou estratégia mais favorável.

A combinação de conjuntos difusos com a técnica de multicritério foi o fundamento para a abordagem proposta nesta tese, devido a sua adequação na atividade de exploração de cenários políticos. Entretanto, sua aplicação prática mostrou que

faltava um mecanismo que auxiliasse no processo de simulação e de aprendizado. A combinação isolada de conjuntos difusos e multicritério não faz uso de um recurso importante: a recuperação de casos passados análogos. Experiências positivas ou negativas vividas anteriormente não são aplicadas como auxílio na atividade de compreensão e exploração da nova situação política apresentada. Logo, toda a informação útil em processos de análise similares passados é negligenciada.

A Tabela – 2.1 abaixo resume a análise das cinco abordagens citadas anteriormente em conjunto com o método proposto nesta tese (Difuso Multicritério Raciocínio Baseado em Casos). Os aspectos de análise escolhidos reforçam as diferenças de propostas em cada abordagem. Além dos aspectos já comentados nesta comparação, incluiu-se o critério de *Análise de Sensibilidade* que funciona como um recurso de verificação sobre a estabilidade de um cenário apresentado, ou seja, se a política sugerida como ótima pode ser ultrapassada por outra com pequenas alterações no cenário.

	<b>Multicritério Determinístico</b>	<b>Policymaker</b>	<b>Analytica</b>
<i>Representação de cenário (tipo de informação tratada)</i>	Valor quantitativo (exato)	Valor quantitativo (exato)	Valor probabilístico
<i>Tratamento de Incerteza</i>	Não apresenta	Não apresenta	Probabilística
<i>Lições passadas recuperadas</i>	Não dispõe	Não dispõe	Não dispõe
<i>Recurso de Aprendizado</i>	Não dispõe	Não dispõe	Não dispõe
<i>Análise de Sensibilidade</i>	Disponível em alguns modelos	Não dispõe	Não dispõe
	<b>Macbeth</b>	<b>Difuso Multicritério</b>	<b>Difuso Multicritério RBC</b>
<i>Representação de cenário (tipo de informação tratada)</i>	Escala quantitativa	Escala difusa	Escala difusa
<i>Tratamento de Incerteza</i>	Não apresenta	Conjuntos difusos	Conjuntos difusos
<i>Lições passadas recuperadas</i>	Não dispõe	Não dispõe	Recurso RBC
<i>Recurso de Aprendizado</i>	Não dispõe	Não dispõe	Recurso RBC
<i>Análise de Sensibilidade</i>	Disponível	Disponível em alguns modelos	Disponível

Tabela – 2.1 Comparativo entre abordagens para apoio à análise de políticas

## 2.2 A Arquitetura da Metodologia Proposta

Em contrapartida às outras abordagens discutidas na seção anterior, a elaboração da metodologia híbrida proposta nesta tese obedece às necessidades suscitadas pelo problema de avaliação de políticas. Em um primeiro momento, o objetivo é descrever os critérios (quesitos) que são aplicados para avaliar as diferentes opções (alternativas) de solução (o cenário deve ser descrito em detalhes). Em grande parte destes problemas, estes critérios representam características subjetivas vagas que não são acuradamente representadas por valores quantitativos. O objetivo seguinte é avaliar as soluções disponíveis, agregando os valores de desempenho de cada alternativa sobre os critérios subjetivos. Após esta avaliação, o Tomador de Decisão (TD) terá uma perspectiva sobre o caminho mais promissor dentro do espaço de soluções. Parte do problema está solucionada até este ponto, pois a metodologia auxiliou o usuário a compreender qual a real situação de sua política para o cenário descrito. Entretanto, o problema não se resume apenas à indicação da melhor alternativa. Certamente o Tomador de Decisão desejará explorar, através de simulações, mais profundamente o cenário com o objetivo de projetar possíveis alterações no quadro apresentado. Com isto ele poderá identificar, por exemplo, possíveis pontos fracos de uma determinada política, poderá identificar situações que possam mudar o quadro para uma solução mais favorável ou poderá tentar prever o resultado prático final da implementação de certas soluções.

Além de verificar a solução mais promissora e simular diferentes cenários, certamente seria de grande valia para o processo de análise de políticas, a manutenção e exploração de casos passados que possam ser utilizados como inspiração para a avaliação do novo problema. Portanto, como parte da solução, a abordagem deverá prover algum mecanismo para a aquisição e recuperação de casos passados relevantes.

Tendo como objetivo o auxílio no problema de avaliação de políticas, a metodologia a ser empregada no processo de decisão e predição está sustentada em três módulos básicos que interagem e se complementam:

1) **Módulo Difuso:** para o tratamento de incerteza (incerteza esta não sobre a chance de ocorrência ou não de um evento, mas sobre o quanto um valor qualitativo especificado pertence a uma ou outra classe – conhecimento vago) na especificação dos valores de desempenho de alternativas candidatas em relação aos critérios a serem usados na avaliação do plano ou projeto em análise. Conjuntos Difusos também são

usados para a representação de incerteza quanto aos pesos de importância que quantificam a importância cada critério de avaliação. A presença de informação imprecisa é fato comum em muitos problemas reais. Muitas vezes o uso de valores exatos são uma mera aproximação de um número que poderia ser melhor expresso através de um conjunto com limites imprecisos. Usualmente o Tomador de Decisão humano está mais familiarizado com termos lingüísticos (como “alto”, “baixo” ou “importante”), que descrevem subjetivamente uma situação, do que com valores precisos que muitas vezes comportam informação grosseiramente aproximada. Desta maneira, permite-se ao Tomador de Decisão expressar situações de incerteza (bastante comuns no processo de exploração de políticas) em seu problema de uma forma mais natural e realística, através do uso de expressões lingüísticas que representam os conjuntos.

2) **Módulo Multicritério:** a solução multicritério (ZIMMERMANN, 1991; TRIANTAPHYLLOU, 2000) tem apresentado ampla aplicabilidade em problemas que envolvem a escolha de uma solução ótima entre uma série de alternativas disponíveis, partindo-se de um conjunto de critérios de avaliação. É justamente um dos objetivos desta proposta sugerir um sistema que auxilie o TD a definir qual a melhor solução (alternativa) entre as candidatas em seu problema. Este módulo multicritério permite explorar e simular a situação das opções de um projeto (ou política), procurando antever a ordem de desempenho de cada uma de acordo com o cenário apresentado pelo usuário (TD). Estes cenários são descritos basicamente através da definição dos critérios de análise e das opções de solução disponíveis, dos valores lingüísticos de desempenho das alternativas em relação a cada critério definido e de acordo com a importância atribuída a cada critério.

3) **Módulo de Raciocínio Baseado em Casos (RBC):** RBC é uma proposta de solução inteligente de problemas com base na recuperação de casos passados similares. A idéia do mecanismo RBC nesta plataforma é ampliar as possibilidades de apoio ao usuário na análise de seu projeto/política. O armazenamento, e posterior recuperação de casos similares, permite ao TD explorar situações antigas como inspiração para a modificação ou melhoria da situação do caso atual. Vale enfatizar que o objetivo primordial deste módulo não é o de diretamente gerar a solução do problema de escolha de políticas, mas sim o de servir como subsídio para alterar o cenário de forma assistida.

Outra grande motivação para o desenvolvimento de um módulo RBC é a sua capacidade de incorporar uma forma de aprendizado ao sistema através do armazenamento de novos casos à base. Quanto mais significativos forem os casos armazenados na base, melhor e maior capacidade de auxílio será disponibilizada ao usuário. O módulo RBC proposto nesta tese não é um simples repositório ou biblioteca de casos, uma vez que implementa recurso de busca por similaridade (por aproximação) e não apenas através de casamento exato como em bases de dados tradicionais. Esta comparação fundamental entre repositórios de dados tradicionais e mecanismos RBC pode ser vista em detalhe no trabalho de Leake (LEAKE, 1996).

O resultado da cooperação dos três módulos é uma abordagem inteligente híbrida Difusa-Multicritério-RBC. Esta abordagem (Figura – 2.1) amolda-se aos requisitos do TD que constrói interativamente sua aplicação modelando incertezas via a definição de conjuntos difusos para os critérios e pesos, definindo seus objetivos de projeto, analisando a situação atual de suas opções através do recurso multicritério e armazenando casos significativos para posterior recuperação por similaridade. A complexidade de um problema que lida com diversos critérios subjetivos juntamente com a necessidade de se avaliar um conjunto de alternativas candidatas é perfeitamente tratável com a exploração dos recursos desta abordagem.

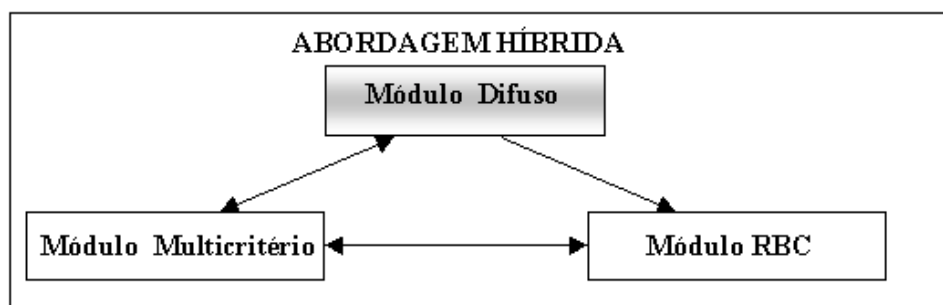


Figura – 2.1 Representação modular da abordagem inteligente híbrida

Existem algumas classificações de modelos híbridos na literatura de Inteligência Computacional (uma destas classificações pode ser vista no trabalho de Kasabov (KASABOV, 1996)), entretanto, o fundamental é que um modelo híbrido representa uma junção coerente de métodos e ferramentas em uma única abordagem. Pode-se



classificar a metodologia proposta nesta tese como um modelo de múltiplos módulos, com um forte acoplamento em nível funcional e de compartilhamento de dados. Apesar de ser possível a identificação individual dos módulos que compõem o modelo, estes estão intimamente relacionados e cada um colabora com parte da solução. A seqüência de funcionamento da metodologia mostra a necessidade da forte interatividade entre os métodos. O Módulo Difuso permite a descrição dos critérios e pesos que serão manipulados pelo Módulo Multicritério para a avaliação e ordenamento das opções disponíveis, ou seja, o primeiro permite representar o cenário sob incerteza e o segundo manipula diretamente os dados desta representação para apresentar uma possível solução ótima. O Módulo RBC mantém, e posteriormente recupera, parte dos dados gerados pelo Módulo Difuso e pelo Módulo Multicritério justamente para realimentar o Módulo Multicritério em futuras simulações (ações e ocorrências recuperadas em um caso retido podem ser aplicadas diretamente sobre o novo cenário, alterando-se, por exemplo, pesos ou valores de soluções ideais via Módulo Multicritério). Os dados gerados pela execução de um módulo são diretamente manipulados pelo módulo seguinte, uma vez que estes utilizam a mesma base de dados unificada.

Um histórico de ocorrências importantes, descrevendo alterações importantes no cenário do problema em momentos relevantes do processo, também é mantido como recurso extra de análise para o Tomador de Decisão quando um caso similar é recuperado da base de dados (o Capítulo – 5 fornecerá mais detalhes sobre este recurso). O objetivo destas ferramentas é proporcionar um poder maior de análise através da exploração não só da situação atual, mas também com a análise de situações similares passadas que possam inspirar uma mudança no quadro atual (auxilia na visualização de caminhos que já foram experimentados em outros momentos). Ocorrências importantes de um outro caso podem descrever atitudes que, adaptadas, podem surtir efeitos benéficos para a solução do problema atual.

O processo de funcionamento da metodologia será detalhado no capítulo sobre os módulos do ambiente (Capítulo – 3), com a seqüência de passos específicos. A seqüência de ações apresentada na Figura – 2.2 abaixo ilustra os passos fundamentais (uma seqüência padrão) na utilização da abordagem, sem a preocupação, neste instante, de um maior nível de detalhe:

1. *Início*
2. *Definir o cenário que descreve a política a ser analisada:*
  - 2.1. *Definir critérios difusos de análise*
  - 2.2. *Definir alternativas de solução*
  - 2.3. *Definir escala de pesos lingüística para os critérios*
  - 2.4. *Definir pesos dos critérios e desempenhos das alternativas nos critérios*
3. *Determinar Soluções Ideais Positiva e Negativa*
4. *Executar cálculo multicritério para verificar qual é a solução ótima (ordenação)*
5. *Analisar resultado do ordenamento via opções gráficas:*  
*Valores resultantes para as alternativas*
6. *Se base de casos passados disponível, recuperar casos similares*  
*(ocorrências importantes gravadas podem inspirar simulações para o novo cenário)*
7. *Explorar cenário via simulações: retornar a passos anteriores (2,3,4) para alterar desempenhos de alternativas em critérios, para alterar pesos ou mesmo valores de soluções ideais*
8. *Se caso já estiver suficientemente explorado, armazenar novo cenário (caso) para futura recuperação em problemas posteriores*
9. *Fim*

Figura – 2.2 Seqüência exibindo os passos fundamentais no processo de avaliação de uma política, através da abordagem proposta

Estes passos são apenas um resumo sobre o funcionamento da abordagem. O retorno a passos anteriores é comum devido à tentativa de avançar na situação do projeto/política ou para simular circunstâncias distintas. O dinamismo natural do processo de avaliação de políticas exige a alteração do cenário e a realização de novas simulações. Outro aspecto a considerar é que esta seqüência não é fixa, logo alguns passos podem ser efetivados fora desta ordem, como por exemplo ocorre com o 6º Passo que já pode ser realizado a partir do momento em que as Soluções Ideais já estejam definidas, ou seja, casos similares já podem ser consultados na base após o término do 3º Passo (no momento em que o cenário já estiver totalmente descrito). Alguns destes passos comportam uma série de ações que vão passando para a metodologia o conhecimento que o Tomador de Decisão dispõe sobre o problema. Algumas ações não foram apresentadas acima como um passo específico, já que podem ocorrer em momentos distintos e fora de uma ordem preestabelecida. Isto ocorre com a “descrição de ocorrências importantes” que pode ser apresentada pelo Tomador de Decisão a qualquer momento, bastando para isto que ele apropriadamente exponha a

mudança ocorrida (existe um mecanismo especialmente preparado para este fim). O capítulo referente aos módulos da abordagem mostra detalhes teóricos sobre estas etapas descritas na seqüência da Figura – 2.2, enquanto o Capítulo – 4 ilustra, na prática, estes passos com o exemplo alvo. A Figura – 2.3 abaixo mostra de forma esquemática o funcionamento da abordagem apresentada (esquemas de funcionamento detalhados serão apresentados no capítulo seguinte):

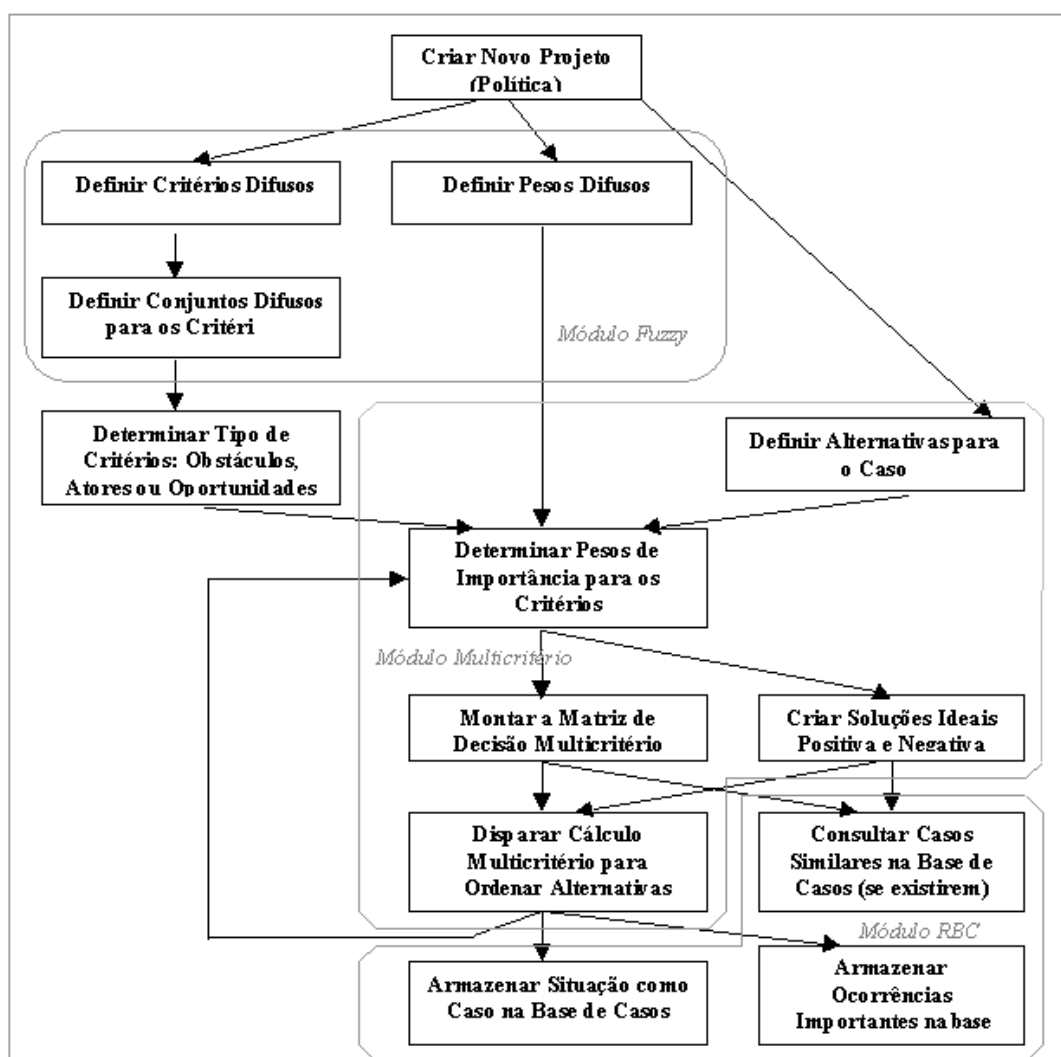


Figura – 2.3 Esquema de funcionamento da abordagem

Vale ressaltar novamente que, apesar das setas indicarem uma seqüência de funcionamento, as ações podem ocorrer em uma seqüência um pouco diferente do que a determinada pelas setas. O esquema mostra a criação de uma primeira situação (caso)

para uma política recém definida e que se começará a explorar. Para outros casos posteriores (para o mesmo tipo de política) a seqüência pode ser iniciada já a partir do item “**Definir Alternativas para o Caso**”, se novos critérios não forem acrescentados. Quando novos casos de uma mesma política são acrescentados, a descrição do cenário anterior de um caso passado (critérios, escala de pesos e ideais) usualmente é reutilizada.

Nos próximos capítulos serão discutidos aspectos teóricos mais específicos sobre as três técnicas fundamentais aplicadas neste trabalho, bem como suas justificativas e comportamento conjunto no auxílio ao processo de decisão.

### **3 Módulos da Metodologia Proposta**

No capítulo anterior apresentou-se de forma resumida a arquitetura da metodologia de apoio proposta neste trabalho. Uma comparação com outros modelos foi útil para mostrar o que diferencia esta metodologia em relação ao que já existe na literatura nesta área. Nesta parte da tese procura-se detalhar cada módulo que compõe a abordagem, enfatizando a contribuição de cada um na formação do modelo de análise sugerido. A cooperação entre os módulos, que será também detalhada no transcorrer deste capítulo, é significativa para a implantação prática desta metodologia.

#### **3.1 Módulo Difuso**

No processo de tomada de decisão, a presença de informação vaga e imprecisa é um fato comum. A possibilidade de poder expressar esta imprecisão através de valores lingüísticos traduzidos por conjuntos difusos traz ao TD a oportunidade de representar de forma realística e natural a sua análise da situação atual do problema. O uso de valores exatos muitas vezes representa uma aproximação forçada do real valor impreciso disponível. Em muitas situações, as informações são obtidas através do julgamento humano que constantemente emprega preferências pessoais ou a análise subjetiva de um conceito (usualmente informação vaga, que não se pode definir com clareza ou precisão um limite abrupto entre a total presença ou não presença do conceito) que não são devidamente expressas pelo uso de um simples valor quantitativo. Outra constatação e motivação para o uso de conjuntos difusos é que a análise e a predição, em muitas áreas, são baseadas sobretudo em termos lingüísticos subjetivos resultantes da falta de pesquisas específicas objetivas, ou porque, mesmo quando existem estas pesquisas com levantamento de dados, não há precisão (a informação é, de certa forma deficiente) ou clareza suficientes para adotar valores exatos como descritores acurados da situação.

Inicialmente, apresenta-se uma visão resumida sobre os tipos de incerteza que podem surgir no processo de decisão e porque a técnica de conjuntos difusos foi

escolhida para o mecanismo de análise sugerido nesta tese. Em um segundo momento, é detalhado o funcionamento do módulo difuso.

### 3.1.1 Tratamento de Incerteza em Tomada de Decisão

O termo “incerteza” encerra diferentes significados e situações, apesar de comumente ser traduzido através de apenas uma de suas facetas. Existem diversos tipos de incerteza e cada uma deve ser tratada por um método específico. São várias as classificações e ângulos de avaliação da incerteza, conforme apresentado nos trabalhos de Costa (COSTA, 1999) e Klir (KLIR, 1993; KLIR, 1995) que fazem um apanhado geral e montam uma classificação resumindo os tipos de incerteza em 3 grupos básicos (outro trabalho classificando os tipos de incerteza também pode ser visto em (ROCHA & JOSLYN, 1998)): *fuzziness*, não-especificidade e conflito (estes dois últimos são agrupados em um nível mais elevado de incerteza como “ambigüidade”). Basicamente, estes 3 tipos podem ser assim definidos:

- Não-especificidade: gerado pela falta de informação que possa distinguir, caracterizar um objeto (não há uma distinção clara para concluir com certeza sobre o que o objeto é realmente);
- Conflito: gerado pela discordância na escolha entre alternativas. Algumas evidências indicam a escolha de uma alternativa e outras evidências mostram que a segunda alternativa é mais indicada.
- *Fuzziness*: o quanto (o grau que) um objeto pertence a um conceito. É sinônimo de vagueza, ou seja, é a incerteza gerada pela falta de precisão sobre os limites que definem se um objeto pertence ou não a um conjunto (não há limites precisos).

O esquema mostrado abaixo (Figura – 3.1), adaptado de Klir (KLIR, 1993), mostra as diferentes dimensões de incerteza e que métodos são usualmente aplicados para lidar com cada um dos tipos de incerteza definidos:

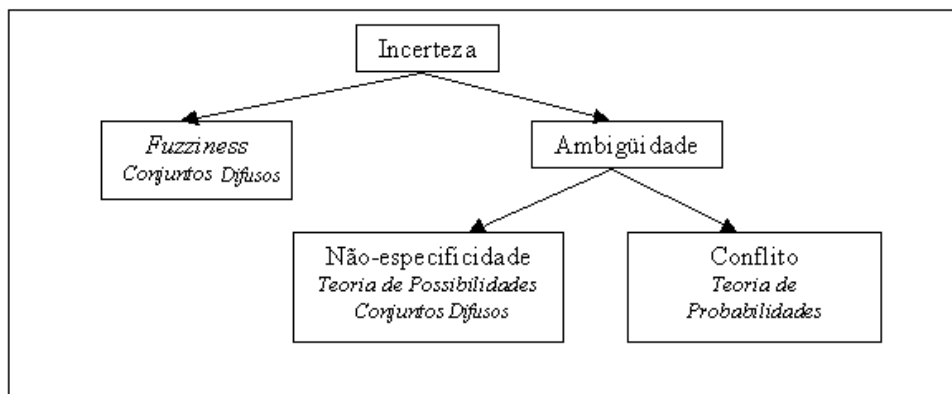


Figura – 3.1 Tipos de Incerteza (adaptado de Klir (KLIR, 1993))

Não é objetivo principal desta Tese transcorrer sobre os diferentes tipos de incerteza e explicar a filosofia das teorias envolvidas na manipulação destas incertezas. O esquema mostrado na Figura – 3.1 serve para ilustrar que abordagens específicas devem ser aplicadas de acordo com o tipo de incerteza identificada em um problema. Em determinadas situações, inclusive, combinam-se as técnicas para tratar diferentes aspectos de incerteza. A Teoria de Probabilidades é útil em problemas de decisão em que chances precisam ser avaliadas. Para isto, distribuições de probabilidade devem ser construídas para avaliar-se a viabilidade de cada alternativa em um espaço de soluções. Mas esta ferramenta deve ser aplicada especificamente em quadros de decisão em que a incerteza é gerada por situações de conflito e dissonância. As distribuições de probabilidade necessárias à avaliação do problema devem estar disponíveis, além disto, suposições teóricas para o uso de métodos probabilísticos devem ser atendidos, ainda que algumas situações práticas em tomada de decisão, principalmente as que trabalham com quadros complexos dinâmicos, não tenham um comportamento muito previsível e regular.

A incerteza na área de Tomada de Decisão foi, no passado, até pela falta ou desconhecimento de outros métodos de tratamento, manipulada basicamente através de técnicas probabilísticas, apesar de não ser a solução mágica para qualquer tipo de situação. Outras técnicas surgiram e verificou-se que algumas delas poderiam ser melhor usadas não apenas para definir mais adequadamente cenários de decisão sob incerteza como para ajudar na escolha de caminhos mais promissores. A área de

Inteligência Computacional oferece abordagens mais qualitativas para descrever o tipo de conhecimento incerto que rodeia a decisão em problemas do mundo real, principalmente no tocante à representação de preferências por parte do Tomador de Decisão. No trabalho de Dubois (DUBOIS et al, 2000) é defendido que ferramentas de Inteligência Computacional podem tratar melhor a informação qualitativa do que modelos clássicos com funções de utilidade probabilísticas. O mesmo trabalho enfatiza que a abordagem MCDM pode se beneficiar de modelos desenvolvidos em Inteligência Artificial como recurso para melhorar sua solução em problemas de decisão sob incerteza.

O tipo de incerteza existente no problema de avaliação de políticas é basicamente o originado pelos termos vagos que são usados para avaliar o cenário. A análise do raciocínio do especialista humano nestes problemas deixa bem claro a existência deste tipo de incerteza quando este não consegue definir com exatidão os limites entre um e outro conceito adjacentes. Neste tipo de problema, o termo lingüístico representa a informação e traz consigo a incerteza representada pela vagueza (inexatidão ou falta de clareza) e não pela dúvida sobre a probabilidade de ocorrência ou não de um certo evento ou pelo conflito entre afirmações. Portanto, a coerência indica que deve-se usar o mecanismo mais adequado para tratar a vagueza existente no modelo, qual seja, a Teoria de Conjuntos Difusos.

### 3.1.2 Aplicação de Conjuntos Difusos em Tomada de Decisão

Existem diferentes tipos de aplicações que se utilizam de conjuntos difusos como recurso para tratar a incerteza e a imprecisão. Alguns usos comuns estão na área de Reconhecimento e Classificação de Padrões, em Predição, Monitoração, Diagnóstico e Controle. Certamente a área de controle é a mais explorada por sistemas difusos, inclusive com a produção industrial de mecanismos inteligentes para controle de máquinas de lavar, filmadoras, controle de sistemas de metrô entre outras aplicações de engenharia. O emprego na área de tomada de decisão (DEBOECK, 1994; LI, 1995; ROYES & BASTOS, 2001a) também mostra-se um caminho promissor para a Teoria de Conjuntos Difusos. O alvo fundamental para conjuntos difusos nesta tese é



justamente o tratamento da informação vaga e imprecisa como recurso de apoio ao Tomador de Decisão, só que ao invés de propor a análise de uma situação específica, é proposto uma abordagem genérica de auxílio à decisão em política.

Diariamente surgem problemas com uma variedade de alternativas de ações disponíveis que devem ser avaliadas para se decidir qual a opção mais promissora. Desde o final do século XVIII a tomada de decisão já era tema de estudo na França na área social. A literatura atual apresenta um grande número de teorias e métodos desenvolvidos na área de tomada de decisão. Muito da teoria da decisão tem sido desenvolvida através da área de negócios e gerência, na qual o processo de decisão é chave em muitas atividades como por exemplo na análise de investimentos, criação de novos produtos e análise de riscos futuros. Atualmente, o processo de tomada de decisão, através do qual alternativas (caminhos de solução) melhores devem ser analisadas e escolhidas, é aplicado em campos distintos desde a área política e social até o campo da engenharia e informática.

Basicamente, a tomada de decisão clássica lida com as seguintes informações:

- Um conjunto de alternativas (o espaço de decisão) disponíveis para o Tomador de Decisão;
- Um conjunto de ações disponíveis;
- Uma relação indicando o estado ou resultado esperado para cada ação disponível e
- Uma função de utilidade ou função objetivo que ordena os resultados de acordo com o desejo (meta/objetivo) do Tomador de Decisão.

Quando trabalha sob certeza, o Tomador de Decisão conhece qual o estado e simplesmente escolhe a alternativa com o maior valor possível para a função de utilidade (esta função pode ser algo como: maximizar dividendos, minimizar custos ou maximizar retorno social) a partir de um cenário apresentado. Já na decisão sob risco, que é considerada uma forma de incerteza, o Tomador de Decisão não sabe exatamente que estado ocorrerá, ele somente conhece a função (distribuição) de probabilidade para cada estado (KLIR, 1995). Quando estas probabilidades dos resultados não são conhecidos ou não são relevantes e os resultados de cada ação são caracterizados apenas

de forma aproximada diz-se então que as decisões são tomadas sob incerteza (nesta situação tem-se a aplicação fundamental de conjuntos difusos para a tomada de decisão).

Na decisão difusa, tanto as restrições que devem ser obedecidas como a função de utilidade que deve ser satisfeita podem lidar com valores difusos. Neste caso, a decisão pode ser vista como o resultado da intersecção entre as funções (ambos caracterizados pelas suas funções de pertinência) das restrições e a função de utilidade (objetivo). Por exemplo, na decisão sobre o melhor investimento (as alternativas são as opções de investimento disponíveis) a ser realizado por uma pessoa física, os dividendos devem ser “os mais altos possíveis” (função objetivo), mas ao mesmo tempo devem ser os de “menor risco possível” (restrição). A intersecção entre as funções de pertinência que representam os conjuntos difusos “altos dividendos” e “riscos menores” apontará para a melhor decisão a ser tomada, ou seja, a intersecção entre as duas funções formará uma nova função de pertinência (conjunto difuso) resultante. O investimento que possuir maior grau de pertinência a este conjunto difuso resultante será o escolhido.

Diferentes modelos podem ser aplicados para a solução de problemas de tomada de decisão difusa, como por exemplo o modelo de Programação Linear Difusa ou o modelo de Programação Dinâmica Difusa (ZIMMERMANN, 1987). Entretanto, a análise Difusa Multicritério tem sido muito difundida e utilizada devido à constatação de que grande parte das situações de tomada de decisão compreendem múltiplos critérios e não apenas uma função objetivo. Soluções multicritério (muitas variações estão disponíveis na literatura) justamente manipulam situações em que múltiplos critérios (metas e restrições são tratadas de forma similar como critérios) devem ser tratados para que a alternativa ótima seja escolhida entre as disponíveis (uma detalhada discussão sobre o modelo multicritério aplicado nesta tese será apresentada na seqüência deste capítulo).

Em muitas situações reais a decisão é tomada com base em conhecimento subjetivo e usualmente vago. É natural o ser humano trabalhar com este tipo de informação (tradicionalmente presente na formulação das preferências, restrições e metas em uma dada situação) que é mentalmente ponderada e agregada para que uma

decisão seja obtida. Entretanto, para a máquina este tipo de raciocínio não é natural e não é diretamente tratável por métodos tradicionais. A técnica de conjuntos difusos permite a construção de sistemas inteligentes que simulam na máquina esta forma de raciocínio sob incerteza empregado pelo Tomador de Decisão humano. Metas e restrições são modeladas em termos lingüísticos vagos enquanto as funções de pertinência funcionam para as metas como as funções objetivo da teoria clássica da decisão. Certamente, com esta capacidade, um maior espectro de problemas reais podem ser analisados com o auxílio do computador. Entre algumas das muitas aplicações específicas de conjuntos difusos para a tomada de decisão podem ser apresentadas:

- Decisão de estudantes sobre a carreira mais adequada: Este trabalho, proposto por Yamashita (YAMASHITA, 1997), comporta um sistema baseado em regras difusas que auxilia estudantes a escolherem a carreira mais adequada ao seu perfil. A partir de um questionário respondido pelo estudante (são usados termos lingüísticos para estas respostas), o sistema utiliza o raciocínio aproximado para atuar como uma espécie de orientador vocacional, sugerindo o tipo de carreira mais indicado.
- Decisão sobre estratégias de marketing: Este outro sistema, apresentado por Li (LI, 2000), trabalha também com regras difusas para selecionar a melhor estratégia (política) de marketing para uma certa empresa, a partir de variáveis difusas que descrevem o cenário atual do mercado e o potencial do negócio proposto. O processo de avaliação das regras, de acordo com os valores das variáveis, indica a melhor estratégia (decisão) a ser adotada. O ambiente completo deste sistema também comporta um módulo neural para tentar prever o futuro comportamento do mercado, ou seja, pode também ser considerada uma abordagem híbrida.
- Decisão sobre estratégias no desenvolvimento urbano: Neste trabalho, Feng (FENG, 1999) apresenta uma solução Difusa Multicritério para, a partir de uma série de fatores (critérios) difusos de avaliação, determinar o índice de desenvolvimento urbano de cidades de uma região ou país. Os valores de entrada para os critérios não são precisos, logo conjuntos difusos e

respectivas funções de pertinência podem melhor representar estes índices. De acordo com o resultado (valor final obtido após o cálculo multicritério) de cada cidade, políticas públicas mais adequadas podem ser promovidas em cada região. Este sistema é específico para atender o problema de análise do desenvolvimento urbano.

- Decisão sobre concorrer ou não à reeleição em um cargo eletivo: A abordagem proposta neste trabalho (ROYES et al., 2001) manipula um conjunto fixo de variáveis lingüísticas difusas que representa os fatores decisivos para verificar as possibilidades de reeleição de um candidato. O tipo de informação tratada em predição de possibilidades eleitorais também tem natureza imprecisa devido tanto à fonte de informações que usualmente é a opinião do eleitor, como a própria análise do especialista que é feita com base nestas informações subjetivas (valores exatos para as variáveis usadas na avaliação das chances eleitorais usualmente não representam adequadamente a incerteza presente nestas informações). O processo de inferência das regras difusas e o posterior processo de *desfuzificação* indicam as possibilidades de reeleição e portanto fornecem subsídio para a decisão do candidato e/ou do seu partido político.

Algumas destas soluções trabalham com recursos adicionais (são abordagens híbridas) para o desenvolvimento de metodologias mais robustas de apoio. É interessante também observar a diversidade nos campos de aplicação de conjuntos difusos na área de decisão, o que corrobora seu potencial de apoio quando a decisão envolve incerteza advinda da vagueza e imprecisão.

A próxima seção é dedicada a apresentar detalhes sobre o funcionamento e organização do módulo difuso da metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta neste trabalho.

### 3.1.3 Estrutura do Módulo Difuso

Através do Módulo Difuso, definem-se as variáveis lingüísticas que resumem parte do problema a ser analisado pelo Tomador de Decisão (TD). Como a abordagem aplicada nesta tese envolve a solução multicritério, estas variáveis lingüísticas são, em realidade, os critérios (as metas e restrições) que permitem explorar quais alternativas são mais promissoras.

O Módulo Difuso é um dos recursos fundamentais desta metodologia. Através desta ferramenta, o TD pode expressar a vagueza e a imprecisão existentes nas informações que este manipula para analisar o cenário do seu problema. Nesta proposta, a definição de conjuntos difusos é aplicada em dois momentos principais:

- Para definir os possíveis valores de entrada para cada critério de avaliação (cada alternativa ou opção no andamento da política/projeto usará estes valores para expressar seu desempenho em relação ao critério) e
- Para descrever os pesos que definem a importância de cada critério (o TD usa termos lingüísticos que melhor expressam a descrição do peso, como por exemplo: *Pouco Importante*, *Médio Importante* ou *Muito Importante*). Em muitas situações, a definição de uma escala quantitativa para representar a importância de um critério significa uma mera adequação forçada ao tipo de representação disponível.

Cada projeto (representando um tipo de política) possui sua lista de critérios definida. Os casos referentes a um tipo de política irão manipular estes critérios, mas não obrigatoriamente trabalharão com toda a lista. O conjunto de critérios a ser manipulado em um determinado caso dependerá da análise da situação específica. Algum caso específico em um tipo de política poderá mesmo requerer um ou outro critério novo específico. Quando isto ocorrer, o TD deverá, através do Módulo Difuso, acrescentar as definições para este novo atributo. A Figura – 3.2 mostra esta estrutura de *Projetos-Casos-Critérios*:

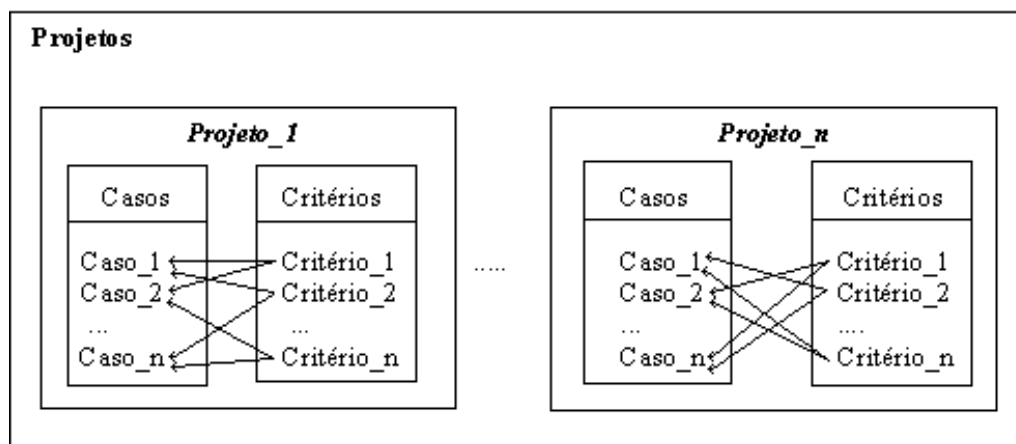


Figura – 3.2 Estrutura de Projetos, Casos e Critérios

Outros trabalhos (CHEN, 2000; YEH et al, 2000) apresentam possibilidade semelhante de descrição de conjuntos difusos para critérios e pesos, mas permitem apenas a definição de formatos fixos para as funções de pertinência: usualmente triangulares. No módulo difuso proposto nesta tese, o Tomador de Decisão pode optar por uma das diversas funções disponíveis, permitindo a representação mais adequada da função que melhor traduz a situação de sua incerteza (o Apêndice – 2 detalha cada uma destas opções de funções disponíveis). Isto quando é possível, e necessária, uma definição mais aproximada desta função.

O Tomador de Decisão pode definir livremente o universo de discurso de cada critério (posteriormente são feitas normalizações para o universo  $[0;1]$ , de forma a permitir os cálculos envolvendo os diversos critérios), a quantidade de conjuntos (e seus respectivos termos lingüísticos) que descrevem o critério e escolher a função de pertinência para cada conjunto. A Figura – 3.3 mostra a definição dos conjuntos de um critério de avaliação usado para o exemplo da eleição majoritária (ROYES, 2002). Um novo caso para este exemplo será detalhadamente explorado no Capítulo – 4. Recurso similar é usada para a definição dos pesos difusos.

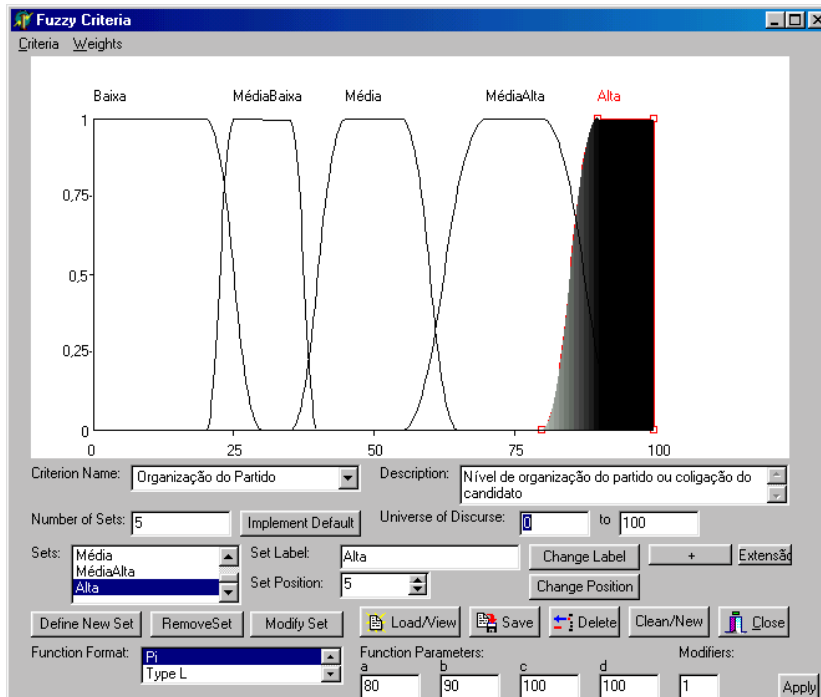


Figura – 3.3 A interface do Módulo Difuso com a definição dos conjuntos de um critério

Outra funcionalidade incorporada ao módulo difuso é a opção de definição de modificadores lingüísticos (KLIR, 1995) aos conjuntos difusos. Modificadores são usados tanto para intensificar (“concentração”) ou suavizar (“dilatação”) um conceito. A concentração representa o modificador lingüístico “muito” e é resultado da aplicação de um expoente superior a 1 no grau de pertinência resultante. Quanto maior este expoente, mais evidente o aspecto da intensificação do conceito. O expoente usual para a representação do termo “muito” é 2:

$$\mu_{CON(A)}(u) = (\mu_A(u))^2 \quad (3.1)$$

Já a suavização do conceito expressa o modificador lingüístico “mais ou menos” ou “regularmente”. Para obter este resultado aplicam-se expoentes no intervalo (0;1). Quanto mais próximo de zero for este expoente, mais suaviza-se o conceito. O modificador “mais ou menos” é usualmente representado pelo expoente 0.5:

$$\mu_{DIL(A)}(u) = (\mu_A(u))^{0.5} \quad (3.2)$$

Com o uso de modificadores, as opções de representação são aumentadas, uma vez que as funções básicas podem ser atenuadas ou intensificadas bastando para isto que o Tomador de Decisão calibre o expoente para o conceito (para o conjunto difuso),

conforme a necessidade de seu problema. As Figura – 3.4 e 3.5 abaixo mostram o módulo difuso em duas situações: com o conjunto difuso “Alta” sendo intensificado (“Muito Alta”) e suavizado (“Mais ou Menos Alta”) através dos expoentes 4 e 0.25, respectivamente (o formato original da função para o termo “Alta” pode ser visto na Figura – 3.3 anterior) :

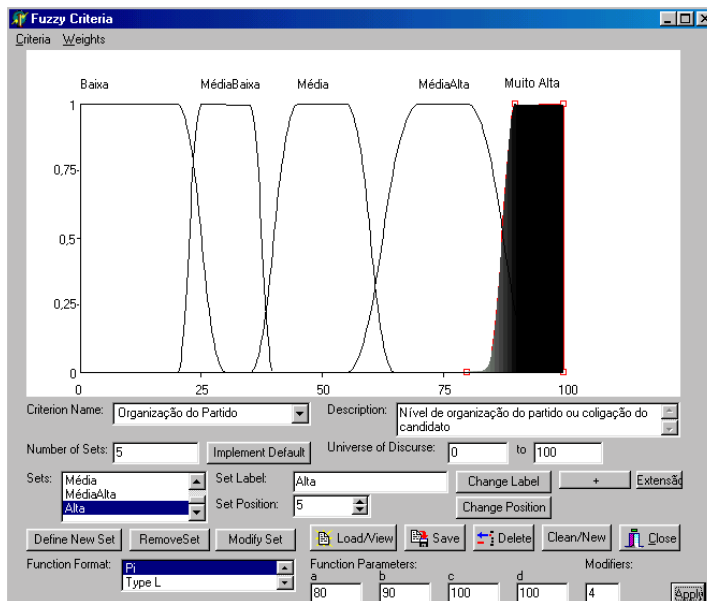


Figura – 3.4 Concentração (expoente = 4) aplicada ao conjunto “Alta”

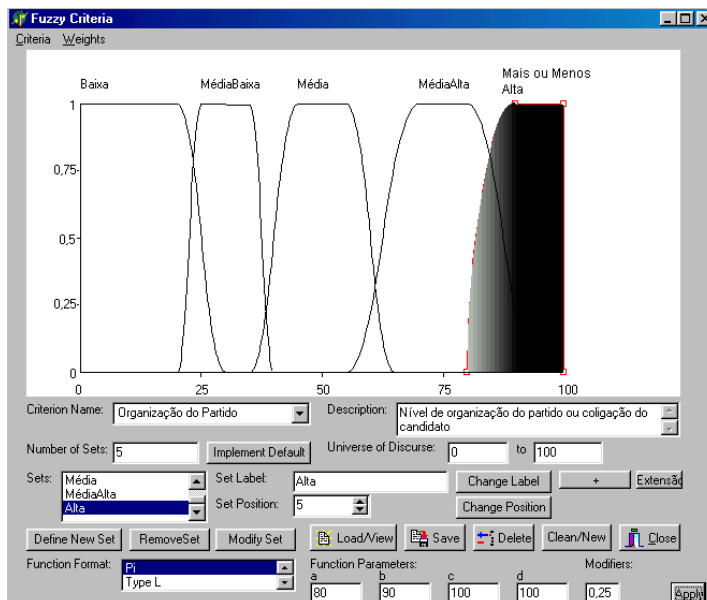


Figura – 3.5 Dilatação (expoente = 0,25) aplicada ao conjunto “Alta”



Basicamente, o processo de definição dos critérios difusos segue a seqüência de passos apresentada:

1) Definição dos Critérios: O TD precisa determinar quais critérios (metas e restrições) influenciam na sua política/projeto;

2) Para cada critério difuso determinar:

- Universo de Discurso que representa a variação de valores admitidos para o critério;
- Uma descrição pode ser acrescida para lembrar qual a importância e/ou significado do referido critério na análise do problema;
- Número de conjuntos difusos necessários (granularidade) para caracterizar adequadamente o critério (o número de conjuntos pode variar, por exemplo, de acordo com a disponibilidade de informações sobre o critério. Normalmente com informações mais detalhadas pode-se montar mais conjuntos);
- Um termo lingüístico representativo para cada conjunto difuso deve ser escolhido e
- As funções de pertinência para cada conjunto definido e seus devidos parâmetros. A função será escolhida dentre as opções disponíveis.

É importante enfatizar que, a qualquer momento, o TD pode acrescentar e remover critérios e conjuntos, bem como alterar suas definições (por exemplo, pode definir outras funções, outros valores para os parâmetros ou pode definir um modificador). Este tipo de refinamento usualmente ocorre, decorrente do próprio processo de melhoramento da solução.

Para a definição da escala de pesos difusos para os critérios usa-se novamente o Módulo Difuso com uma interface semelhante à apresentada na Figura – 3.3 anterior. A seqüência de passos a ser seguida é análoga à anterior. Esta seqüência é definida abaixo:

- Escolhe-se o Universo de Discurso para a definição dos pesos;

- Define-se o número de conjuntos difusos que irá representar a lista de pesos disponíveis para a caracterização de cada critério (cada peso é, na realidade, um conjunto difuso). Esta escala deve ser suficientemente representativa para caracterizar as diferenças de importância entre os critérios de avaliação;
- É importante escolher um termo lingüístico que represente de forma adequada a intensidade do peso difuso. Para exprimir o peso de cada critério do problema em análise (isto já no módulo multicritério), o TD selecionará um dos valores lingüísticos de peso definidos neste momento e
- Como na definição dos conjuntos para cada critério, deve-se aqui também definir as funções de pertinência e respectivos parâmetros para cada peso (modificadores também podem ser aplicados).

Como é utilizada basicamente a mesma interface para a definição dos pesos, o TD pode também fazer uso dos recursos de apoio para a definição das funções de forma totalmente interativa. Após a definição inicial da função de pertinência e seus parâmetros, o TD pode, através da interface principal do módulo, redefinir os parâmetros da função diretamente sobre a representação gráfica exibida. O módulo difuso implementado no sistema protótipo disponibiliza uma série de recursos para interação com o TD. A Figura – 3.6 abaixo exibe a definição da escala de possíveis pesos para os critérios no mesmo exemplo sobre eleições citado anteriormente. Neste exemplo, o TD resolveu definir 5 pesos possíveis, com funções de pertinência trapezoidais, conforme pode ser visualizado na Figura – 3.6.

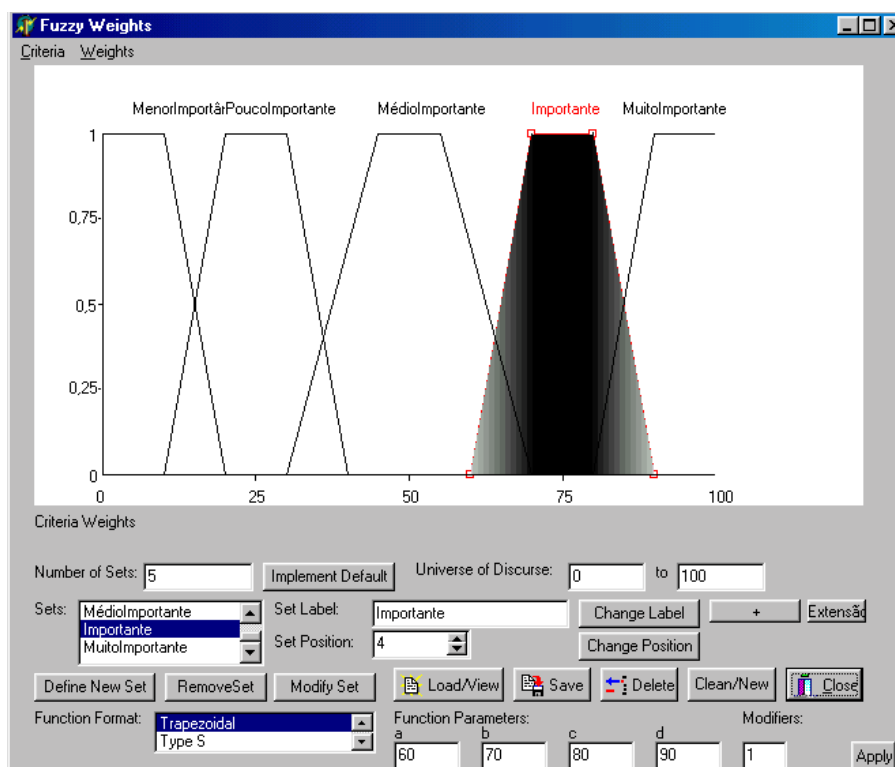


Figura – 3.6 Interface do Módulo Disuso com a definição dos Pesos

As funções disponíveis para a definição dos conjuntos difusos são as seguintes: Trapezoidal, Tipo Sino, Triangular, Tipo S, Tipo Z, Tipo Gama, Tipo L, Singleton e Geométrica (detalhes destas funções são apresentados no Apêndice – 2). Estas funções foram escolhidas basicamente por serem as de mais ampla aplicabilidade em diversos tipos de problemas. A função geométrica (detalhes no trabalho de Maia (MAIA, 1991)) foi incluída por algumas de suas características peculiares, como a possibilidade de poder representar conceitos completamente distintos. A escolha da função mais adequada depende da análise direta do TD. Em algumas situações em que uma quantidade razoável de dados está disponível para uma boa estimativa então pode-se escolher mais facilmente a forma adequada da função (ou seja, o modelo que melhor reflete as modificações no grau de pertinência). A consulta a casos anteriores de uma mesma política certamente fornece um indicativo do formato destas funções. Caso contrário, a definição será mais empírica (a opinião de mais de um especialista pode refinar o formato da função) do que resultado de alguma análise matemática mais sofisticada.

Além da informação sobre o tipo de função, internamente a abordagem necessita dos parâmetros que definem a função. Por exemplo, para as funções Trapezoidais e Tipo Sino usam-se quatro parâmetros reais  $\{a,b,c,d\}$  que descrevem parte do formato da função. O tipo de função, os valores para seus respectivos parâmetros e valores de modificadores, quando presentes, são toda a informação necessária para o sistema corretamente manipular os conjuntos difusos nos cálculos e comparações que envolvem a decisão multicritério (estas informações são mantidas no formato de tabelas em um banco de dados). O exemplo apresentado na Figura – 3.7 abaixo mostra em destaque a função de pertinência para o conjunto *MédiaAlta* do critério *Organização do Partido*. A função determinada é do *Tipo Sino* com os seguintes parâmetros  $\{a,b,c,d\}$  definidos:  $\{55,70,80,95\}$ . Também é possível verificar, nesta mesma figura, para a função em destaque do conjunto *MédiaAlta*, um recurso que foi criado durante a fase de implementação do Módulo Difuso. A idéia é mostrar visualmente, o conceito de “graus de cinza” (KOSKO, 1993) que é um dos termos que advém da teoria de conjuntos difusos. O efeito em tonalidades do preto até o branco ilustra o conceito do grau de pertinência que varia de 0 (branco – não pertinência) até 1 (preto, no centro da função – total pertinência). Esta idéia foi implementada para sempre lembrar o significado da função de pertinência.

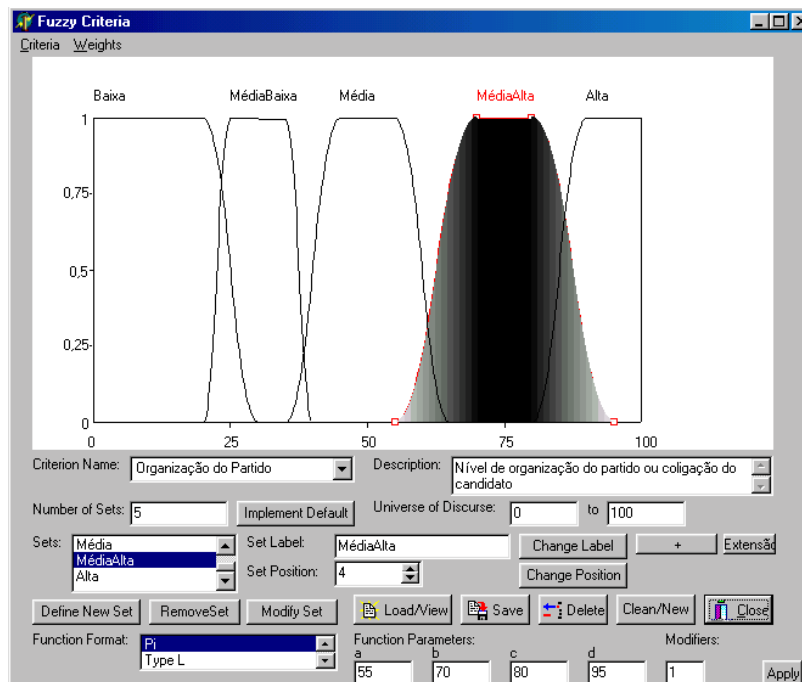


Figura – 3.7 Função Sino definida para o conjunto difuso *MediaAlta*

A seqüência de passos apresentada na Figura – 3.8 abaixo resume as etapas que envolvem a aplicação do Módulo Difuso (vale ressaltar que os passos indicam uma seqüência padrão usual, entretanto, esta não é fixa e pode ser realizada em uma ordem um pouco distinta, como por exemplo, pode-se primeiro definir o Universo de Discurso e apenas depois começar a especificar os termos lingüísticos) :

1. *Início*
2. *Determinar critérios difusos para a política*
3. *Para cada critério difuso:*
  - 3.1 *Definir termos lingüísticos representativos para a determinação de performances no critério*
  - 3.2 *Determinar Universo de Discurso*
  - 3.3 *Definir as funções de pertinência para cada conjunto difuso (tipo de função e parâmetros) relativas aos termos definidos em 3.1*
4. *Determinar escala de pesos difusos:*
  - 4.1 *Definir termos lingüísticos representativos para a escala*
  - 4.2 *Determinar Universo de Discurso (valores extremos) para a escala*
  - 4.3 *Definir funções de pertinência para os termos lingüísticos estipulados em 4.1*
5. *Fim*

Figura – 3.8 Passos básicos referentes ao Módulo Difuso

A Figura – 3.9 abaixo resume, de forma esquemática, o funcionamento do módulo difuso, agora com um maior nível de detalhe em relação ao esquema geral de toda a metodologia apresentado no Capítulo – 2, Figura – 2.3 (Não há uma ordem obrigatória quanto à definição de pesos e critérios. Pode-se definir inicialmente os critérios e depois a escala de pesos ou vice-versa):

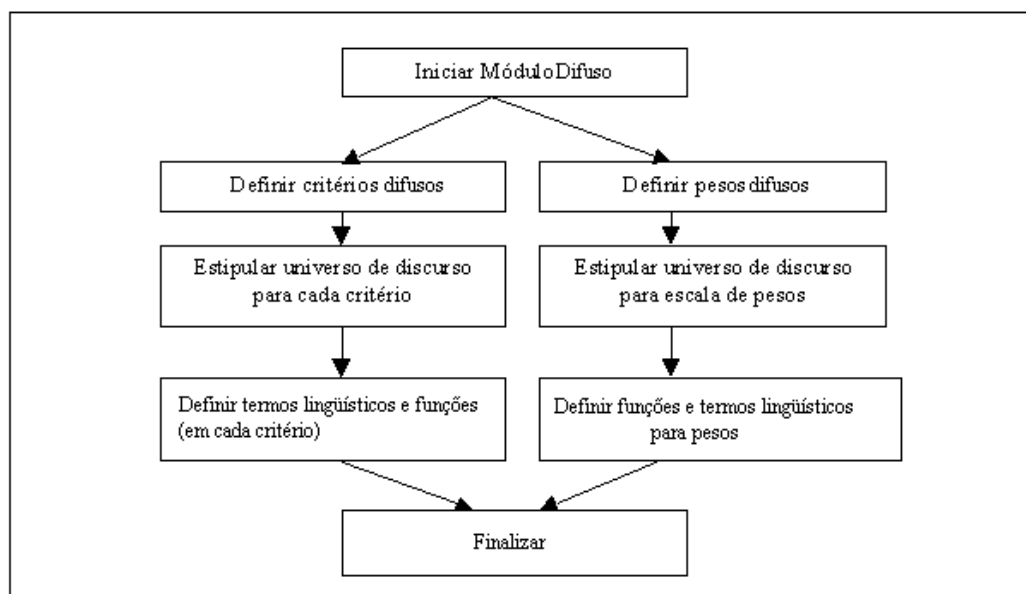


Figura – 3.9 Esquema de funcionamento do Módulo Difuso

Quanto à implementação, toda a informação definida no Módulo Difuso (por exemplo funções, nomes de conjuntos difusos, Universos de Discurso e modificadores) é armazenada em tabelas de um banco de dados relacional. Esta informação estará sempre disponível para reavaliações por parte do TD. Os outros módulos também fazem acesso a estas tabelas com informações difusas.

Pode-se então afirmar que o Módulo Difuso possui os recursos fundamentais, normalmente apenas disponíveis em arcabouços (*shells*) difusos, necessários para a detalhada definição das informações subjetivas que servirão como base para o funcionamento dos demais módulos da abordagem. A grande diferença em relação a abordagens unicamente difusas é que o Módulo Difuso não encerra todo o processo. Ele facilita a aquisição e organiza as informações vagas que serão manipuladas, na seqüência, pelos outros dois módulos dentro do processo de análise de políticas. O Módulo Multicritério manipula diretamente a informação lingüística aqui definida para indicar, dentre as alternativas de políticas (ações) disponíveis, qual a mais promissora. E o Módulo de Raciocínio Baseado em Casos trabalha diretamente com a informação difusa para recuperar da base, via casamento parcial de informações (por cálculo de similaridade), os casos semelhantes.

## **3.2 Módulo Multicritério**

Esta seção segue a seqüência de apresentação dos três módulos principais da metodologia. O módulo multicritério busca cumprir um dos objetivos básicos desta tese, ou seja, o de facilitar a exploração do cenário (ou política) definido pelo Tomador de Decisão. Inicialmente, apresenta-se uma visão resumida sobre o processo multicritério e, na seqüência, são discutidos detalhes sobre a abordagem escolhida.

### **3.2.1 Visão Inicial**

Uma das técnicas amplamente exploradas na literatura relacionada à tomada de decisão é a solução Multicritério, tradicionalmente referenciada na literatura como MCDM (*Multicriteria Decision Making* (TRANTAPHYLLOU, 2000)). O objetivo primordial é indicar qual a melhor opção (alternativa) entre as disponíveis para um dado problema. Este também é o objetivo de algumas outras técnicas que foram referenciadas no capítulo anterior como: programação linear, programação dinâmica e teste de hipóteses. Possivelmente, a solução multicritério seja a mais discutida e explorada pela diversidade de problemas que esta técnica consegue manipular.

A abordagem multicritério é classificada em dois ramos fundamentais conforme o tipo de problema ao qual se propõe. Problemas Multi-Atributo (*MADM*) referem-se a situações que compreendem um número discreto e predeterminado de alternativas candidatas. Por outro lado, problemas Multi-Objetivo (também conhecidos como problemas do “Vetor-Máximo”) lidam com espaços contínuos, com um número infinito ou grande de escolhas (alternativas), usualmente através de programação matemática com várias funções objetivo.

O foco do módulo proposto neste trabalho são problemas Multi-Atributo (*MADM*) definidos por um conjunto finito de atributos (critérios) significativos na avaliação do problema. Estes atributos são aplicados para avaliar um conjunto também finito de alternativa(s) ou meta(s). O objetivo fundamental do método *MADM* é determinar a alternativa ótima, ou seja, a que possui o maior grau de atendimento aos critérios propostos no problema. Outra meta correlata é classificar (ordenar) as alternativas por ordem de satisfação dos critérios. A partir deste momento, para unificar com a terminologia usada na literatura, o termo multicritério (ou MCDM) será usado sempre como referência apenas a métodos *MADM*.

Para uma maior familiaridade com os termos empregados na área de multicritério, alguns conceitos fundamentais são apresentados a seguir:

- *Atributos (Critérios)*: Problemas MCDM (*MADM*) são basicamente caracterizados pela manipulação de múltiplos atributos. Os atributos representam os diferentes aspectos de avaliação a serem considerados na análise das alternativas disponíveis. Estes critérios envolvem aspectos positivos (metas) e negativos (restrições) que devem ser suficientemente

descritivos para revelar a qualidade das alternativas. Nesta tese, os critérios traduzem uma certa política a ser considerada.

- *Alternativas*: Representam as opções disponíveis para a tomada de decisão. No sistema genérico apresentado nesta tese, as alternativas podem abranger aspectos completamente distintos, como por exemplo: as opções de políticas públicas que podem ser aplicadas por um governo, as opções de produtos a serem lançados por uma empresa ou as empresas cujas ações encontram-se disponíveis na bolsa de valores. As alternativas (que podem ser apenas 2 ou 3 ou mesmo centenas) deverão ser avaliadas e ranqueadas com base nos critérios propostos.
- *Pesos*: Usualmente, os métodos MCDM trabalham com pesos de importância para os critérios definidos. É possível definir o mesmo peso para todos os critérios, mas a situação mais comum (em situações reais) sugere que se defina o nível de influência de cada um dos atributos em relação ao processo de decisão sobre quais alternativas são mais promissoras. Apesar de ser uma etapa necessária para grande parte das abordagens, distintos modelos MCDM apresentam formas diferentes para o TD estipular a importância de cada critério. O trabalho de Triantaphyllou (TRANTAPHYLLOU, 2000) apresenta alguns modelos MCDM tradicionais e comenta como é realizada a definição de pesos em cada método.
- *Matriz de Decisão*: Também é uma representação comum à grande parte dos modelos. A matriz de decisão resume boa parte do cenário a ser analisado. Basicamente corresponde a uma matriz ( $m \times n$ ) em que cada elemento  $a_{ij}$  representa o desempenho (o valor) de cada alternativa  $A_i$  (com  $i = 1, 2, \dots, m$ ) em relação a cada critério  $C_j$  (com  $j = 1, 2, \dots, n$ ). Na mesma matriz são apresentados os pesos  $w_j$  dos critérios definidos pelo TD. Os cálculos envolvendo os modelos multicritério são basicamente realizados de acordo com os valores definidos nesta matriz. Uma típica matriz de decisão é apresentada a seguir, na Tabela – 3.1.

Grande parte dos modelos que implementa a abordagem multicritério apresenta cinco passos principais:



1. Determinação dos critérios a serem usados para a avaliação e ordenamento das alternativas (opções disponíveis);
2. Definição dos pesos para cada critério (atributo);
3. Determinação dos valores de desempenho para cada alternativa em relação a cada critério. O Tomador de Decisão deve informar estes valores de alguma maneira. A obtenção destes valores varia de método para método, sendo que usualmente estes são fornecidos de forma direta pelo TD ou através de algum método de comparação de desempenho entre alternativas;
4. Obtenção do valor agregado de desempenho para cada alternativa, a partir da avaliação conjunta de todos os critérios (metas) definidos. Este valor resume o desempenho de cada alternativa em relação aos atributos de avaliação definidos (os métodos multicritério diferem bastante em relação à forma de agregação) e
5. Ordenamento das alternativas de acordo com o valor de desempenho obtido no passo anterior.

Existe uma ampla diversidade de modelos multicritério. Todas as abordagens buscam o apoio à decisão através da escolha da alternativa ótima e/ou através do ordenamento das opções disponíveis. Cada método possui uma abordagem distinta para a realização dos passos básicos. Alguns, como AHP (*Analytic Hierarchy Process*), proposto inicialmente por SAATY (SAATY, 1980; SAATY, 1994), baseiam-se em comparações entre alternativas para obter o desempenho de cada alternativa em relação a cada critério. Em outros, como WSM (*Weighted Sum Model*) e WPM (*Weighted Product Model*), a montagem da matriz de decisão que comporta os valores de desempenho individuais de cada alternativa em relação a cada critério é especificada diretamente (sem comparações) pelo Tomador de Decisão. Existem outros modelos, como ELECTRE, proposto por ROY (ROY, 1976), nos quais limiares de preferência e indiferença são aplicados para o ordenamento das opções, além dos valores diretamente definidos pelo TD. A obtenção dos pesos para os critérios e a aplicação destes pesos para o cálculo do desempenho final de cada alternativa são também mecanismos bastante distintos entre os vários modelos.

A Tabela – 3.1 abaixo representa a matriz de decisão que é aplicada por grande parte dos métodos multicritério como base para a realização das duas fases fundamentais (*obtenção de desempenhos agregados e ordenamento*):

<b>Alternativas</b>	<b>Critérios</b>				
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_N$
	$w_1$	$w_2$	$w_3$	...	$w_N$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	...	$a_{1N}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$	...	$a_{2N}$
.	.	.	.		.
.	.	.	.		.
.	.	.	.		.
$A_M$	$a_{M1}$	$a_{M2}$	$a_{M3}$	...	$a_{MN}$

Tabela – 3.1 Matriz de Decisão Multicritério

Onde:

$M$  é o número de alternativas;

$N$  é o número de critérios;

$a_{ij}$  é um conjunto difuso que representa a avaliação da alternativa  $i$  ( $i=1, \dots, M$ ) em relação ao critério  $j$  ( $j=1, \dots, N$ ) e

$w_j$  é um conjunto difuso que representa o peso do critério  $j$ .

Em modelos multicritério tradicionais, os desempenhos das alternativas, bem como os pesos dos critérios, são expressos em valores precisos. Entretanto, em situações reais, nas quais os dados disponíveis para decisão são muitas vezes de natureza vaga e imprecisa, estes modelos apresentam forte limitação para representar adequadamente o cenário destes problemas.

Para superar estas limitações, abordagens multicritério difusas têm sido desenvolvidas e aplicadas justamente para tratar este tipo de informação incerta que norteia o julgamento em situações complexas reais. Muitas destas abordagens multicritério difusas são extensões de modelos tradicionais que mantêm sua filosofia

básica para a forma de resolver os passos fundamentais de obtenção dos desempenhos agregados e ordenamento das alternativas, introduzindo o conceito de conjuntos disusos para representar a informação imprecisa sobre a avaliação das alternativas em relação a cada critério. Os pesos, para cada critério, também são definidos através de valores difusos que representam termos lingüísticos sobre a importância de cada critério. Como acontece nas abordagens tradicionais, a forma de obtenção destes desempenhos e pesos difere de método para método.

A matriz de decisão passa então a comportar números difusos ao invés de valores exatos, e os cálculos que envolvem a produção dos desempenhos finais de cada alternativa necessitam aplicar operações aritméticas como multiplicação e soma de valores difusos. Em grande parte destes métodos multicritério difusos são aplicados apenas números triangulares. Para as operações básicas envolvendo este tipo de número difuso foram concebidas fórmulas específicas.

Como esta tese sugere a manipulação de informações imprecisas para a tomada de decisão, o objetivo foi inicialmente estudar os métodos multicritério difusos existentes. Entre os diversos modelos multicritério difusos apresentados na literatura, o selecionado para este módulo da metodologia foi o *Fuzzy Topsis* (CHEN, 2000) com algumas alterações de implementação sugeridas. Alguns outros modelos amplamente utilizados (que apresentam abordagens distintas) podem ser observados em (TRANTAPHYLLOU, 2000).

Na seqüência deste seção, detalha-se o modelo Topsis com algumas adaptações para o problema de avaliação de políticas. Posteriormente, o módulo multicritério da metodologia é apresentado em todos os seus aspectos.

### 3.2.2 O Modelo Topsis e as Adaptações Propostas

Existe uma ampla diversidade de abordagens multicritério. Quando estes modelos são utilizados para situações específicas, pode-se analisar detalhadamente qual solução se adapta melhor às peculiaridades e necessidades do problema proposto. Entretanto, para uma abordagem genérica como esta, a análise é um pouco mais

delicada. O fundamento para a definição do modelo foi baseado principalmente em aspectos mais gerais. As justificativas básicas para esta escolha situam-se na forma interativa de funcionamento do modelo Topsis (CHEN, 2000) (o usuário define diretamente qual seria a solução ideal a ser alcançada ou aproximada na resolução do problema, como se estivesse descrevendo seus objetivos) e na sua formulação matemática que facilmente pode ser compreendida e aceita pelo Tomador de Decisão. A solução não está em uma caixa-preta de difícil acesso, mas sim é fruto da direta interpretação do cenário político e das soluções ideais definidas pelo próprio TD.

Uma aceitação maior possivelmente advém da compreensão e explicação do mecanismo de solução. É muito intuitivo para o Tomador de Decisão humano imaginar que a melhor alternativa será aquela cujo desempenho for mais próximo de sua solução ideal e ao mesmo tempo mais distante da solução negativa. Já em outros métodos como ELECTRE, a justificativa sobre a melhor alternativa é bem mais sofisticada e de difícil explicação para que se possa compreender como o ordenamento final foi obtido. Outro ponto positivo é que este modelo não exige, ao contrário de alguns outros métodos (como AHP), o esforço repetitivo do Tomador de Decisão em centenas ou milhares de comparações entre alternativas e critérios, quando o número de opções e de critérios de avaliação torna-se elevado. No método ELECTRE, outro ponto que pode causar dificuldade ao Tomador de Decisão é a escolha correta dos limiares de indiferença, preferência e *veto*. O TD deve entender exatamente o sentido destes limiares e ter a compreensão de que alterações nos valores destes limiares poderão causar grandes mudanças na ordenação das alternativas. Logicamente que o método detalhado nesta seção, bem como os outros métodos já descritos, não são infalíveis e estão susceptíveis a problemas que podem ser verificados através, por exemplo, de uma detalhada análise de sensibilidade (TRIATAPHYLLOU, 1997).

Um dos fundamentos de Topsis para obter a alternativa ótima, e por consequência o ordenamento das alternativas, são os conceitos de Solução Ideal Positiva ( $A^+$ ) e Solução Ideal Negativa ( $A^-$ ). As soluções representam os valores (para o modelo *Fuzzy Topsis* estes valores representam termos lingüísticos difusos) imaginados como os melhores ( $A^+$ ) e piores ( $A^-$ ) desempenhos esperados para todos os critérios de avaliação do problema. A alternativa ótima será aquela que tiver a menor distância (usualmente é aplicada a distância Euclidiana ou a distância de Hamming) para a

solução  $A^+$  e simultaneamente a maior distância para a solução  $A^-$ . As soluções  $A^+$  e  $A^-$  são representadas por dois vetores que representam estes valores ideais.

Na adaptação do modelo proposto nesta tese, traduziu-se as funções de pertinência dos termos lingüísticos originais que representam cada valor ideal esperado, em cada critério de avaliação, como números difusos L-R (YAGER, 1994) (veja detalhes sobre números difusos L-R a seguir, no *8º Passo*). Esta tradução para números L-R permite uma simplificação nos cálculos exigidos para o modelo multicritério (esta proposta permite a manipulação simultânea de funções de pertinência distintas, contrariamente ao modelo *Fuzzy Topsis* original, que permitia apenas a manipulação de funções triangulares). Na abordagem proposta desta tese, estes ideais são interativamente sugeridos pelo usuário de acordo com os conjuntos difusos por ele mesmo definidos para a representação do valor de desempenho das alternativas em cada critério. O exemplo abaixo mostra os vetores representando as soluções  $A^+$  e  $A^-$  para um problema envolvendo cinco critérios de avaliação (cada elemento no vetor é um número difuso L-R – maiores detalhes no *8º Passo*, a seguir). Neste caso, a opção do Tomador de Decisão foi escolher o Máximo valor possível (o valor 1, no intervalo unitário  $[0,1]$ ) para os critérios no Ideal Positivo e o Mínimo valor possível no Ideal Negativo. Entretanto, é importante enfatizar que nem sempre os valores para o Ideal Positivo serão os máximos valores possíveis. Uma vez que, por exemplo, estes melhores valores possíveis combinados podem resultar em uma solução final de custo extremamente elevado e inviável, dependendo da área de aplicação em questão ou mesmo representarem uma combinação impossível.

$$A^+ = ((1, 1, 0, 0), (1, 1, 0, 0), (1, 1, 0, 0), (1, 1, 0, 0), (1, 1, 0, 0)),$$

$$A^- = ((0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0))$$

Todo o processo de funcionamento da abordagem *Fuzzy Topsis*, já com algumas modificações propostas neste trabalho, será mostrado em uma seqüência de passos para uma visão mais detalhada:

**1º Passo:** Definição de critérios de avaliação e alternativas para o problema;

**2º Passo:** Definição da escala de valores lingüísticos para cada critério;

**3º Passo:** Definição da escala de valores difusos que será usada para expressar o peso de cada um dos critérios (com o auxílio do módulo difuso);

**4º Passo:** Processo de normalização é realizado. Este processo é necessário, uma vez que os diferentes critérios de avaliação possivelmente estarão definidos em universos de discurso cujas unidades de representação são completamente distintas, e portanto não diretamente comparáveis entre si. O universo de discurso padrão usado para representar a unidade comum é o intervalo unitário [0,1].

Os parâmetros das funções de pertinência dos conjuntos difusos envolvidos no cálculo multicritério (desempenho das alternativas em cada critério, pesos e soluções ideais) são todos normalizados internamente para o intervalo unitário. O processo fundamental de normalização empregado é resumido pela equação:

$$x_{norm} = x - U_{min} / (U_{max} - U_{min}) \quad (3.3)$$

Onde:

$x$  é o parâmetro da função de pertinência (em seu valor no universo de discurso original) a ser normalizado e

$U_{min}$  é o limite inferior do universo original e  $U_{max}$  é o limite superior.

**5º Passo:** Definição do peso de importância de cada critério utilizando os termos lingüísticos estipulados no 3º passo.

**6º Passo:** A matriz de decisão difusa é determinada pelo TD que define o desempenho de cada alternativa em relação a cada critério ( $\tilde{x}_{ij}$ ) através dos valores difusos estipulados no 2º Passo:

$$\tilde{D}_{m \times n} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Onde  $m$  corresponde ao número de alternativas e  $n$  ao número de critérios.

**7º Passo:** Uma etapa característica deste método é a definição, por parte do Tomador de Decisão, da Solução Ideal Positiva ( $A^+$ ) e da Solução Ideal Negativa ( $A^-$ )

para a comparação com o desempenho das alternativas. Para cada critério, o TD definirá, também valendo-se dos termos lingüísticos definidos no 2º Passo, o valor ideal positivo esperado e o valor negativo a ser evitado pelas alternativas. Os vetores com as soluções são apresentados genericamente desta forma:

$$A^+ = (\tilde{a}_1^+, \tilde{a}_2^+, \dots, \tilde{a}_n^+) \quad (3.5)$$

$$A^- = (\tilde{a}_1^-, \tilde{a}_2^-, \dots, \tilde{a}_n^-) \quad (3.6)$$

Onde  $n$  representa o número de critérios e  $\tilde{a}_j$  representa um dos valores difusos definidos para o critério  $j$  no 2º Passo.

**8º Passo:** Este representa um passo extra em relação a proposta do método Topsis original. O modelo *Fuzzy Topsis* original não lida com esta questão devido ao fato que este manipula apenas funções triangulares e suas respectivas operações aritméticas simples e já muito bem definidas (detalhes sobre estas operações podem ser vistas em (DUBOIS & PRADE, 1980)). A limitação advinda é que toda a representação de imprecisão e vagueza deve ser modelada unicamente por formatos triangulares. Em determinadas situações de análise, nem sempre este formato é o mais adequado. A proposta aqui sugerida manipula funções diversas e precisa realizar as devidas operações sobre os números difusos que elas representam. A solução para a manipulação de números difusos distintos faz uso da representação via números difusos L-R.

Para poder trabalhar com números difusos distintos (com funções de pertinência distintas), os valores difusos de pesos, desempenhos de alternativas (valores  $\tilde{x}_{ij}$  da matriz apresentada no 6º Passo) e valores sugeridos nas soluções ideais são traduzidos em uma representação unificada.

A proposta para permitir a realização de cálculos (operações aritméticas) com estes diferentes tipos de funções foi usar o conceito de números L-R. O objetivo é reduzir o esforço computacional exigido pelas operações de convolução (YAGER, 1994) sobre os elementos do suporte das funções a serem operadas, além da seqüência de operações lógicas que envolvem o Princípio da Extensão (ZADEH, 1965; ZADEH, 1973a; ZADEH, 1973b), em sua proposta de implementação original. Operações

aritméticas para conjuntos difusos são realizadas através da aplicação deste princípio. Com esta representação via números difusos L-R tem-se uma generalização mais flexível e aproximada não apenas para números triangulares, mas também para números trapezoidais e tipo Sino, por exemplo.

Desta forma, todas as funções de pertinência dos conjuntos difusos (desempenhos das alternativas, pesos dos critérios e os valores relativos às soluções  $A^+$  e  $A^-$ ) a serem manipuladas pelo sistema no cálculo multicritério são previamente convertidos nesta notação unificada. A notação de números difusos L-R é basicamente assim definida:

$$\tilde{M} = (\underline{m}, \bar{m}, \alpha, \beta)_{LR} \quad (3.7)$$

Onde  $\underline{m}$  é o centro esquerdo (ou pico esquerdo) da função de pertinência original, agora representada pelo número difuso  $\tilde{M}$ ,  $\bar{m}$  é o centro direito e  $\alpha$  e  $\beta$  são respectivamente a extensão esquerda e direita da função original em relação aos centros esquerdo e direito. A função de pertinência de  $\tilde{M}$  é representada abaixo (onde L e R são funções contínuas estritamente decrescentes de  $[0,1]$  a  $[0,1]$  com  $L(0)=R(0)=1$  e  $L(1)=R(1)=0$ ):

$$\mu_{\tilde{M}} = \begin{cases} L((\underline{m} - x) / \alpha) & \text{para } x \leq \underline{m} \\ 1 & \text{para } \underline{m} \leq x \leq \bar{m} \\ R((x - \bar{m}) / \beta) & \text{para } x \geq \bar{m} \end{cases} \quad (3.8)$$

Com base nesta notação de números difusos L-R, como exemplo, as operação de produto e de diferença entre números difusos L-R, necessárias para o cálculo multicritério que é descrito nos próximos passos, ficam assim definidas (fórmulas obtidas de (DUBOIS & PRADE, 1987)):

$$A \otimes B \equiv (\underline{m}_a \underline{m}_b, \bar{m}_a \bar{m}_b, \underline{m}_a \alpha_b + \underline{m}_b \alpha_a, \bar{m}_a \beta_b + \bar{m}_b \beta_a)_{LR} \quad (3.9)$$

$$A \ominus B = (\underline{m}_a - \underline{m}_b, \bar{m}_a - \bar{m}_b, (\underline{m}_a + \alpha_a) - (\underline{m}_b + \alpha_b), (\bar{m}_a + \beta_a) - (\bar{m}_b + \beta_b))_{LR} \quad (3.10)$$



**9º Passo:** Cada elemento da matriz de decisão difusa ponderada ( $\tilde{V}_{m \times n}$ ) é obtido através do produto:

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \otimes \tilde{W}_j \quad (3.11)$$

Onde  $\tilde{w}_j$  é o peso do critério  $j$  e  $\tilde{x}_{ij}$  é o desempenho da alternativa  $i$  em relação ao critério  $j$ .

Usando a solução via números difusos  $L$ - $R$ , como apresentada no passo anterior, tanto o valor de  $\tilde{w}_j$  como de  $\tilde{x}_{ij}$  já deverão estar convertidos em números difusos  $L$ - $R$ , logo este produto será efetuado como (segundo a fórmula 3.9):

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \otimes \tilde{w}_j = (\underline{m}_{\tilde{x}_{ij}} \underline{m}_{\tilde{w}_j}, \bar{m}_{\tilde{x}_{ij}} \bar{m}_{\tilde{w}_j}, \underline{m}_{\tilde{x}_{ij}} \alpha_{\tilde{w}_j} + \underline{m}_{\tilde{w}_j} \alpha_{\tilde{x}_{ij}}, \bar{m}_{\tilde{x}_{ij}} \beta_{\tilde{w}_j} + \bar{m}_{\tilde{w}_j} \beta_{\tilde{x}_{ij}}) \quad (3.12)$$

**10º Passo:** Já com a matriz  $\tilde{V}_{m \times n}$  calculada pelo passo anterior, pode-se passar para a etapa que define o desempenho agregado de cada alternativa. Neste modelo, o desempenho final de cada alternativa  $i$  é obtido através do cálculo de duas distâncias:

- A distância da alternativa em relação à Solução Ideal Positiva –  $A^+$  (as distâncias mais usadas são a de Hamming e a Euclidiana; na equação abaixo aplica-se a distância de Hamming):

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n |\tilde{a}_j^+ \otimes \tilde{w}_j \ominus \tilde{v}_{ij}| \quad (3.13)$$

Onde  $n$  é o número de critérios,  $i$  é o número da alternativa e  $\tilde{a}_j^+$  é a solução ideal positiva para o critério  $j$ .

Aplicando-se a solução via números difusos  $L$ - $R$ , os valores de  $\tilde{a}_j^+$  e  $\tilde{w}_j$  são previamente convertidos em números difusos  $L$ - $R$  (o valor de  $\tilde{v}_{ij}$  já está representado por um intervalo  $L$ - $R$ ) e portanto as diferenças podem ser calculadas com base em:

$$A - B = (\underline{m}_a - \underline{m}_b, \bar{m}_a - \bar{m}_b, (\underline{m}_a + \alpha_a) - (\underline{m}_b + \alpha_b), (\bar{m}_a + \beta_a) - (\bar{m}_b + \beta_b))_{LR} \quad (3.14)$$

Onde  $A = \tilde{a}_j^+ \otimes \tilde{w}_j$  e  $B = \tilde{v}_{ij}$

➤ A distância da alternativa em relação à Solução Ideal Negativa –  $A^-$  :

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n |\tilde{v}_{ij} \ominus \tilde{a}_j^- \otimes \tilde{w}_j| \quad (3.15)$$

Onde  $n$  é o número de critérios,  $i$  é o número da alternativa e  $\tilde{a}_j^-$  é a solução ideal negativa para o critério  $j$ . O processo de cálculo para a esta subtração segue a mesma seqüência apresentada para a distância positiva.

Para a resolução via intervalos L-R, as distâncias representam valores exatos, uma vez que os parâmetros dos números difusos L-R resultantes das diferenças são diretamente somados. Este processo segue a proposta original do modelo Topsis que aplica o Método do Vértex (CHEN, 2000) para lidar diretamente com os parâmetros das funções triangulares resultantes e não mais com a representação da função triangular resultante. Esta idéia foi aqui estendida para manipular apenas os parâmetros  $(\underline{m}, \bar{m}, \alpha, \beta)$  de cada intervalo L-R resultante das diferenças, somando-os e gerando um valor exato final que representa a quantificação de cada distância.

Após calculadas estas distâncias, para cada alternativa é obtido um Índice de Desempenho ( $P_i$  – fórmula original de Topsis) agregado que aplica justamente estas distâncias entre os desempenhos obtidos pelas alternativas e as soluções  $A^+$  e  $A^-$  (veja fórmula abaixo):

$$P_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (3.16)$$

Onde:

$d_i^-$  é a distância da alternativa  $i$  em relação à Solução Ideal Negativa e

$d_i^+$  é a distância da alternativa  $i$  em relação à Solução Ideal Positiva

Usando-se o método via números difusos L-R, como visto no passo anterior, estas distâncias já serão valores exatos e, portanto, o cálculo do desempenho final agregado será bastante trivial aplicando-se a fórmula acima. As alternativas  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ ) são então dispostas em ordem decrescente dos valores de desempenho  $P_i$  obtidos para cada uma.

Estes passos serão retomados em detalhe quando do desenvolvimento do exemplo prático desta tese, no Capítulo – 4. A Figura – 3.10 abaixo resume os passos básicos do método Topsis modificado:

1. Definir critérios de avaliação e alternativas disponíveis
2. Determinar escala difusa e respectivos termos lingüísticos referentes a cada critério
3. Definir escala de pesos para os critérios via termos lingüísticos
4. Efetuar normalização dos parâmetros das funções de pertinência para o intervalo  $[0,1]$
5. Determinar peso de importância de cada critério com a escala lingüística
6. Montar a Matriz de Decisão Difusa com o desempenho de cada alternativa em relação a cada critério (usando valores definidos no passo 2)
7. Definir Soluções Ideais Positiva e Negativa
8. Transformar funções em números difusos L-R
9. Calcular a Matriz de Decisão Difusa Ponderada (produto entre desempenhos das alternativas nos critérios e pesos)
10. Calcular distâncias entre desempenhos ponderados de cada alternativa e as Soluções Ideais Positiva e Negativa e
11. Calcular desempenho agregado final de cada alternativa ( $P_i$ ) e ordená-las.

Figura – 3.10 Passos básicos do Módulo Multicritério (modelo Topsis modificado)

Nesta lista de passos tem-se o processo de execução do modelo *Fuzzy Topsis* já com as alterações sugeridas nesta tese. Os passos 1,2 e 3 são realizados com o auxílio do módulo difuso proposto na metodologia (o módulo difuso está fortemente acoplado ao módulo multicritério).

A Figura – 3.11 mostra a solução do módulo multicritério através de um esquema gráfico. Logicamente que os passos apresentados na figura abaixo referem-se ao processo completo de execução do módulo multicritério, desde a definição de critérios e alternativas até o ordenamento das opções. Na prática, após definidos critérios e alternativas, o que ocorrerá é a execução do módulo apenas para alterar a

matriz de decisão e para disparar novos cálculos de ordenamento sobre o novo cenário montado.

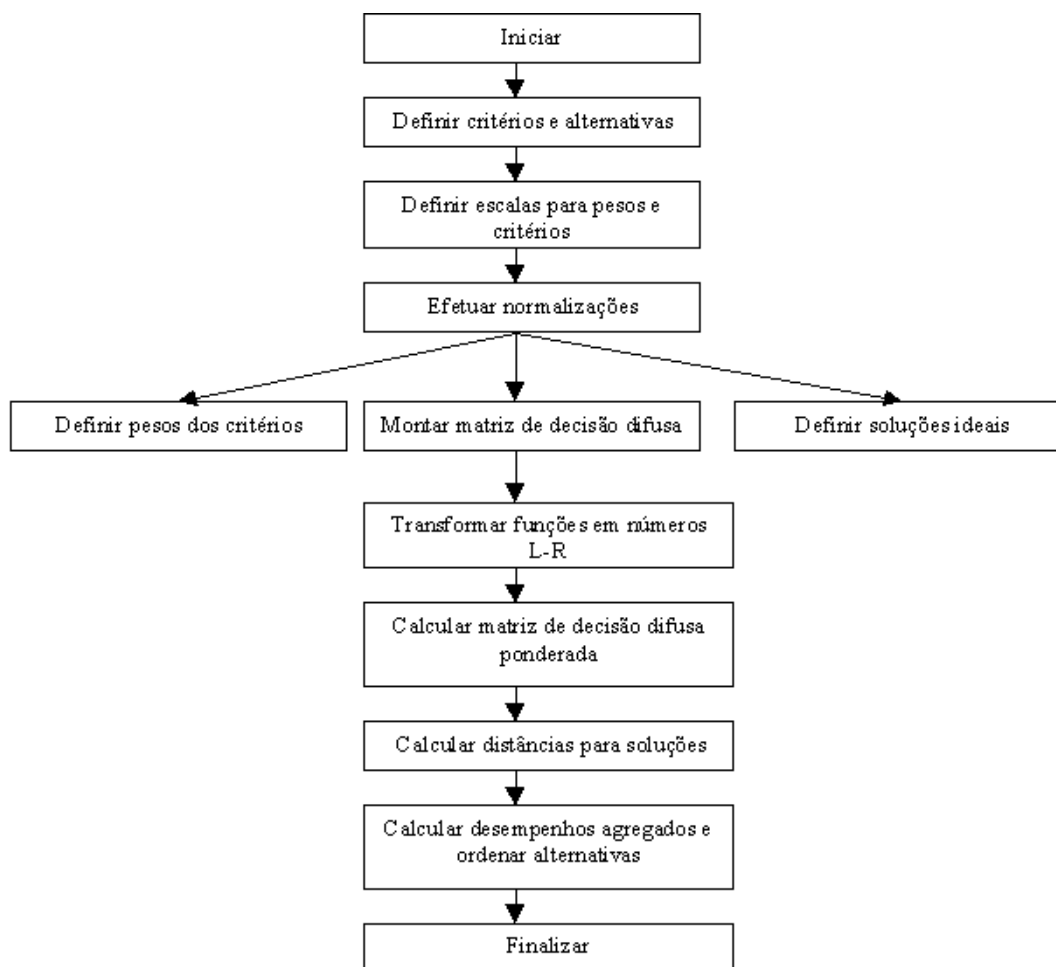


Figura – 3.11 Esquema de funcionamento do Módulo Multicritério

Topsis é um modelo multicritério usado como recurso de auxílio à tomada de decisão. Entretanto, não se pode afirmar que sua proposta isoladamente sirva como um mecanismo de apoio às diversas etapas do processo de decisão. É basicamente uma técnica para obtenção da alternativa ótima. Comparando a proposta de *Fuzzy Topsis*, apresentada no trabalho de Chen (CHEN, 2000), com a abordagem proposta nesta tese, pode-se identificar alguns pontos importantes que mostram uma visão de auxílio mais consistente dentro da idéia desta tese. Estes pontos podem ser observados de forma resumida na Tabela – 3.2 sugerida abaixo:

<b>Funções e recursos disponíveis</b>	<b>Fuzzy Topsis</b>	<b>Plataforma Difusa-MCDM-RBC</b>
<i>Exploração do cenário definido</i>	Somente através da alteração manual da matriz de decisão	Além da alteração manual da matriz de decisão, pode-se fazer uma análise através da verificação de casos passados
<i>Adaptação de situações passadas similares</i>	Não disponível	Manualmente pelo Tomador de Decisão com o auxílio do sistema
<i>Mecanismo de aprendizado</i>	Não disponível	Através do recurso RBC
<i>Recurso de Análise de Sensibilidade</i>	Não disponível	Recurso permite verificar automaticamente se política ótima pode ser facilmente ultrapassada por outra

Tabela – 3.2 Diferenças entre a proposta *Fuzzy Topsis* e a abordagem desta tese

### 3.2.3 A Implementação do Módulo Multicritério da Metodologia

Toda a interação do módulo multicritério com o TD, em relação à definição de pesos, desempenhos das alternativas em cada critério (definição da matriz de decisão), definição da solução Ideal Positiva e Negativa e visualização de resultados é feita através de uma interface gráfica que torna mais ágil e amigável o processo de definição da situação a ser analisada. Já a definição dos conjuntos difusos, com suas respectivas funções de pertinência e termos lingüísticos, que descrevem cada um dos critérios e a escala de pesos é realizada através do Módulo Difuso.

A montagem da matriz de decisão é feita de forma interativa através de uma interface (veja a Figura – 3.12) que apresenta a lista de alternativas, a lista de critérios de avaliação e a lista de valores lingüísticos disponíveis para cada critério. Basta selecionar o termo lingüístico que representa o desempenho da alternativa em relação ao critério. Um outro recurso incorporado exhibe os formatos das funções de pertinência relativos a cada um dos termos de forma gráfica.

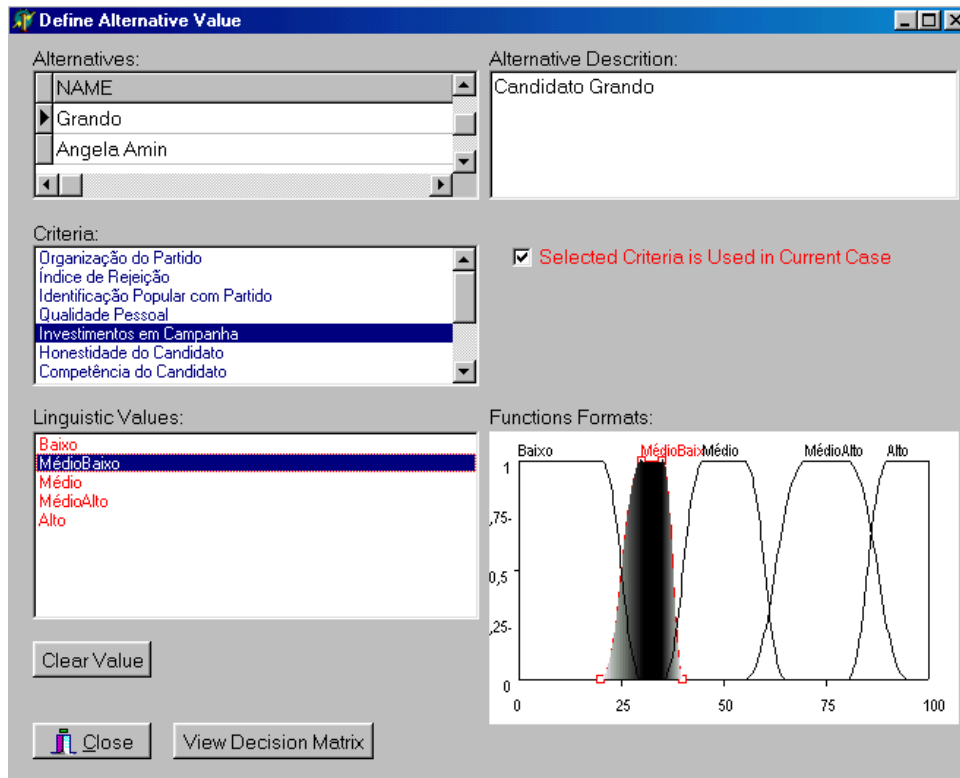


Figura – 3.12 A interface para a montagem da matriz de decisão

O formato final completo da matriz de decisão pode ser verificado em detalhe através da opção *View Decision Matrix*, também disponível nesta interface.

A definição dos pesos dos critérios também é realizada com o auxílio de um recurso interativo. Os valores correspondentes aos pesos de cada critério são escolhidos aplicando-se a escala de termos previamente definida pelo próprio TD. Nesta interface, os critérios do problema são listados (ver Figura – 3.13 abaixo) e os termos lingüísticos com as opções de pesos são também apresentados na forma de uma lista para escolha.

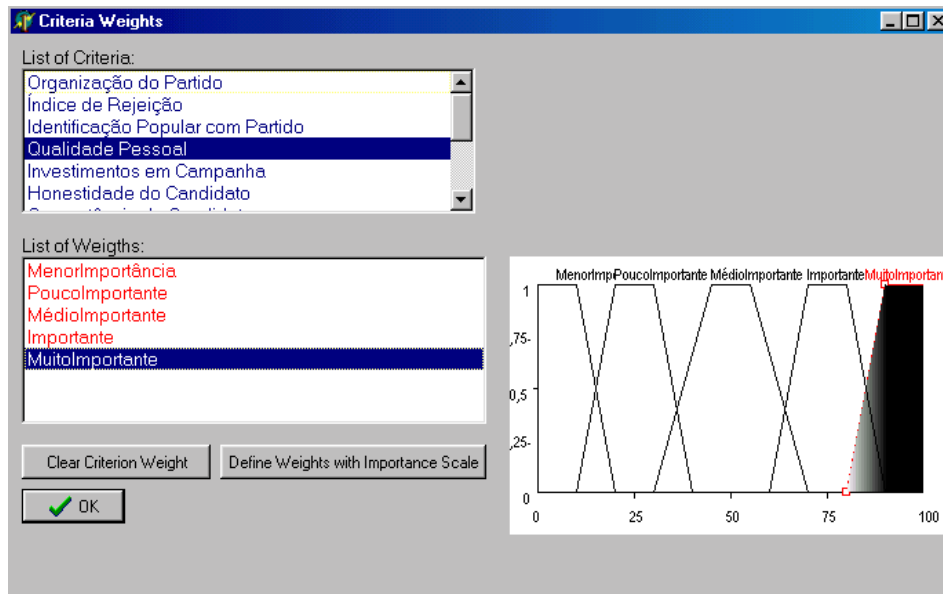


Figura – 3.13 A interface para a definição dos pesos dos critérios

Para estabelecer os valores relativos às Soluções Ideais Positiva e Negativa, um outro recurso foi disponibilizado. A lista de critérios é apresentada juntamente com outras duas listas que exibem os possíveis termos lingüísticos para cada critério. Através da primeira lista, define-se qual será o valor ideal positivo esperado para o critério selecionado e na segunda lista define-se o valor ideal negativo para o mesmo critério. Além dos valores lingüísticos que foram definidos pelo Tomador de Decisão para cada um dos critérios, são acrescentados às listas outros dois valores: o valor *Maximum* e o valor *Minimum*. O valor *Maximum* é representado por uma função singleton cujo suporte é o máximo valor dentro do universo de discurso definido para o critério. Em contrapartida, o valor *Minimum* é uma função singleton com o suporte representado pelo menor valor possível dentro deste mesmo universo de discurso. Estas funções foram acrescentadas para possibilitar ao Tomador de Decisão representar nas soluções ideais valores extremos que muitas vezes melhor se aproximam destes valores ideais hipotéticos. A Figura – 3.14 exhibe em detalhe este recurso usado para definir os ideais.

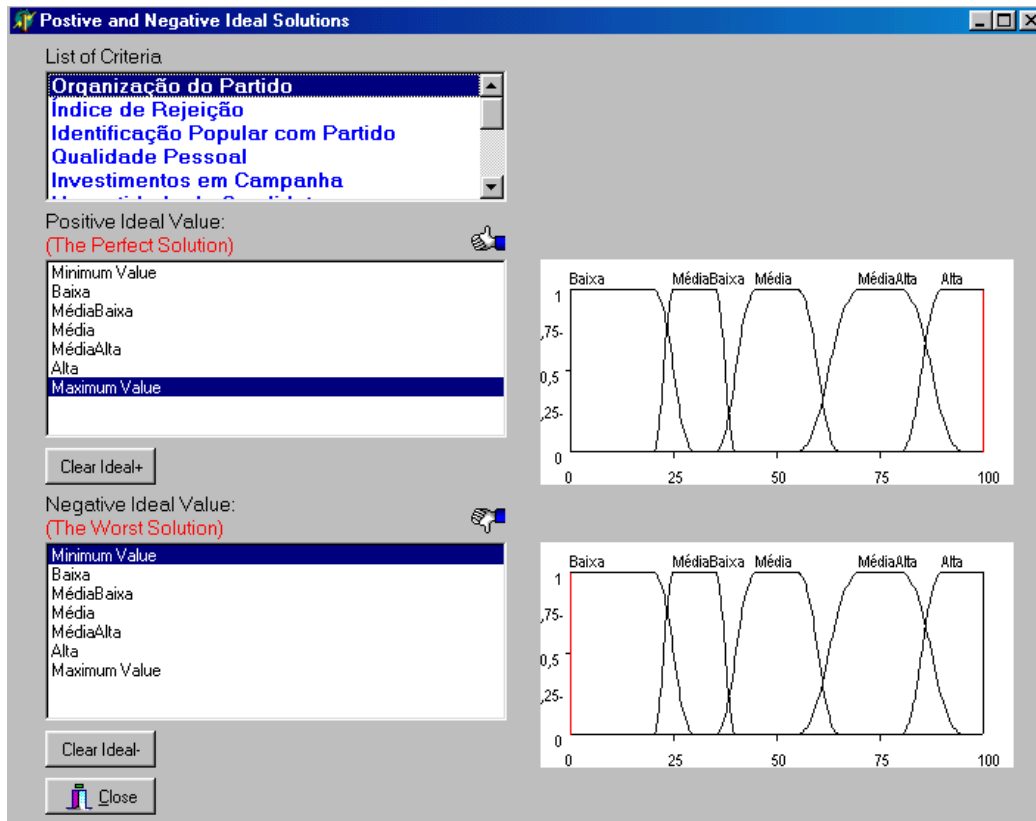


Figura – 3.14 A interface para a definição das Soluções Ideiais Positiva e Negativa

Através da interface principal do módulo multicritério (ver Figura – 3.15 a seguir) o TD pode realmente disparar a execução dos cálculos que vão determinar o ordenamento das alternativas, conforme o cenário descrito por ele. Só é permitido o avanço para esta fase de cálculo e análise final de resultados se as etapas anteriores de descrição da matriz de decisão, definição de pesos e soluções ideais já tiverem sido completamente realizadas. Sem estas informações prévias não há uma definição completa do cenário e, portanto, não há como seguir com o cálculo multicritério propriamente dito. Após o cálculo usando o modelo Topsis modificado, a ordem das alternativas é exibida juntamente com o Índice de Desempenho ( $P_i$ ) agregado de cada uma (na Figura – 3.15 este índice é apresentado como *Performance Index*).



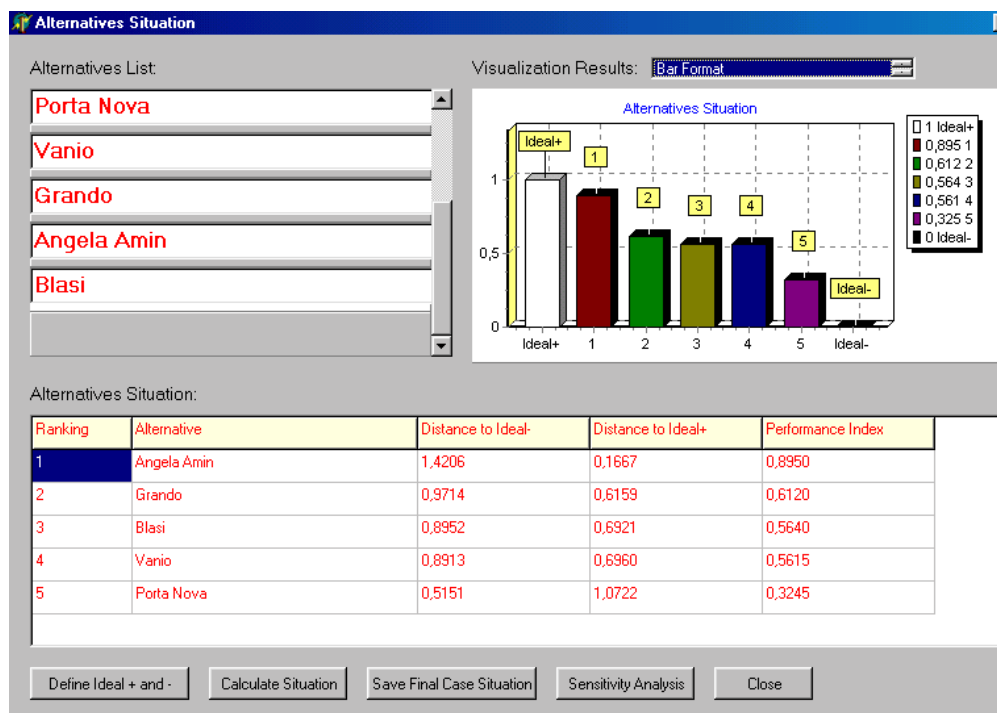


Figura – 3.15 Módulo de análise de resultados da solução multicritério

O resultado do ordenamento das alternativas candidatas na política/projeto do Tomador de Decisão pode também ser explorado através de opções gráficas apresentadas na interface do módulo multicritério. Este tipo de interação gráfica é importante para uma análise mais eficaz do TD sobre a situação de seu problema. Diferenças de desempenho entre as alternativas podem ser melhor observadas, bem como o quanto as alternativas ficaram próximas dos ideais. Uma das importantes simulações que podem ser realizadas pelo TD é provocar pequenas alterações nos valores de pesos e/ou nos desempenhos de alternativas para fazer uma análise sobre o efeito no ordenamento obtido. Desta forma, é possível identificar, por exemplo, quais critérios realmente são mais influentes na situação. A Figura – 3.15 resume os resultados de ordenamento obtidos para um exemplo de verificação de possibilidades de eleição para o conjunto de candidatos (alternativas) na eleição para prefeito da cidade de Florianópolis/SC no ano 2000 (ROYES & BASTOS, 2002) (exemplo similar será explorado em detalhe no Capítulo – 4), através do módulo multicritério.

### 3.3 Módulo Raciocínio Baseado em Casos (RBC)

Em aplicações de Inteligência Computacional, o processo de raciocínio é usualmente representado através da aplicação de regras. Parte do conhecimento é representado por estas regras. Já em RBC (RIESBECK & SCHANK, 1989; KOLODNER, 1993; AAMODT & PLAZA, 1994), a fonte de conhecimento é a memória de casos armazenados que simboliza episódios passados importantes. Através da recuperação por similaridade, casos relevantes são sugeridos e novas soluções (para novos problemas) podem ser geradas através de um processo de adaptação destas experiências.

Nesta tese, os objetivos fundamentais de um mecanismo RBC estão na possibilidade de se oferecer um recurso adicional para a exploração do cenário político apresentado pelo Tomador de Decisão (casos passados análogos podem proporcionar lições úteis em novas situações) e como ferramenta de aprendizado constante, ou seja, a aquisição de novos casos pode melhorar o potencial de apoio da metodologia. O mecanismo RBC incorporado à metodologia não objetiva apontar a melhor política entre as alternativas disponíveis (ajuda na resolução do problema melhorando o próprio conhecimento do Tomador de Decisão sobre seu domínio, mas a indicação da política ótima é dada pelo módulo multicritério). Sua aplicação é na simulação do cenário descrito. A chave da diferença entre o módulo RBC apresentado nesta tese e uma biblioteca simples de casos está na forma de recuperação dos casos. Em bases de casos (ou de dados) convencionais a recuperação é feita através do casamento exato com a consulta apresentada e em RBC este casamento é parcial (LEAKE, 1996).

Esta seção primeiramente apresenta uma rápida introdução sobre RBC para situar o leitor sobre os fundamentos desta técnica. Após, uma seção sugere como manter dados difusos sobre casos armazenados e qual a consequência disto quando da recuperação de casos (esta informação é relevante, uma vez que neste trabalho os dados mantidos sobre casos de políticas são difusos). Em seguida apresenta-se os detalhes do módulo RBC da metodologia. Recomenda-se ainda ao leitor pouco familiarizado com a terminologia e com o mecanismo de funcionamento desta técnica, uma verificação detalhada do Apêndice – 1 que oferece maiores detalhes sobre RBC.

### 3.3.1 Introdução sobre RBC

A abordagem RBC assemelha-se à forma de resolução de problemas empregada no raciocínio humano, o qual busca inspiração em casos passados para o enfrentamento de novas situações. O conhecimento é obtido através da experiência acumulada em resolver problemas (um banco de memórias é formado). RBC busca compreender o mecanismo de aquisição desta experiência e investiga a forma que esta pode ser armazenada e aplicada. Lições passadas fornecem informações valiosas tanto sobre soluções criativas e positivas empregadas como podem fornecer alertas sobre dificuldades que devem ser evitadas em novas circunstâncias similares. É uma abordagem por analogia, ou seja, episódios similares (problemas anteriores) servem de base para um novo processo de raciocínio. Se existe conhecimento prévio sobre alguma situação similar já experimentada, então pode-se e deve-se aplicá-lo para que uma solução melhor seja produzida ou mesmo para que não se incorra nos mesmos erros.

Sistemas baseados em casos têm revolucionado a área de engenharia de conhecimento por tornarem fácil e natural a tarefa de aquisição de conhecimento, a qual é considerada um dos gargalos na construção de sistemas especialistas. De forma contrária a outras técnicas, como em muitos sistemas baseados em regras e em redes neurais, a representação de casos não exige um trabalho árduo de estruturação de objetos do domínio do problema. Em RBC, a própria descrição do problema e da solução já modela o caso que representa o conhecimento.

Certamente que a base de casos deverá manter de forma organizada estes episódios passados (casos retidos) para que possam ser eficientemente recuperados e reutilizados. Esquemas de indexação também devem ser mantidos para que os casos mais adequados (com maior similaridade em relação aos atributos que interessam ao problema) sejam devidamente obtidos. Os índices podem melhor distinguir os casos em relação a características importantes.

Um caso deve representar uma experiência que ensina uma lição importante. Para representar esta lição de forma mais completa, o conteúdo de um caso deve ser organizado da seguinte maneira (LENZ, 1998):

1. *Descrição do Problema/Situação*: Deve estar descrito, em cada caso armazenado, o “estado do mundo” (o contexto para o qual a lição pode ser aplicada) quando o caso ocorreu, ou seja, qual era exatamente o problema e em quais circunstâncias ele ocorreu. É interessante também que se descreva quais eram os objetivos do usuário quanto ao problema proposto.
2. *Solução*: É importante que se descreva todo o caminho aplicado para a resolução do problema, ao menos em seus pontos mais relevantes.
3. *Resultado*: Apesar de alguns sistemas manterem como descrição de um caso apenas o problema e a solução derivada para o problema, o retorno sobre qual efeito prático esta solução apresentou é essencial. Com esta informação pode-se inferir o resultado prático da aplicação da solução, ou seja, se foi positiva ou se fracassou. Com isto pode-se tentar prever a possibilidade de êxito aplicando-se uma solução análoga em uma nova situação similar.

Logicamente que alguns casos da base poderão não contemplar estes três itens devido à falta de informação mais detalhada. As informações (atributos) relevantes que devem ser mantidas sobre os casos, relacionadas aos três itens acima, são bastante dependentes do tipo de domínio do problema (e objetivo de aplicação destes casos) e devem ser cuidadosamente analisadas.

A aplicação deste tipo de técnica está fundamentada na análise do que ocorre no mundo real, nas mais diversas áreas do conhecimento. Usualmente, quanto mais similar é um problema de outro, mais similares podem ser suas soluções, e quanto mais experiente for o especialista, mais conhecimento este tiver adquirido sobre o domínio, melhor devem ser as soluções. Outra tendência é que situações já ocorridas possuem boa possibilidade de novamente ocorrer de forma similar. No domínio da política a situação não é diferente, uma vez que cenários passados podem novamente acontecer. O aprendizado adquirido com cenários passados similares podem enriquecer o processo de entendimento e exploração de novas situações políticas.

Devido a estas tendências que são observados no cotidiano, abordagens RBC têm sido aplicadas em atividades de classificação, configuração, interpretação, planejamento, planificação, diagnóstico, explicação, mediação, avaliação, controle de processos, argumentação, projeção de efeitos, monitoração e, um dos itens que mais

interessa a este trabalho, no processo de tomada de decisão. Aplicações de sistemas RBC especializados são encontrados em diversas áreas importantes (LEAKE, 1996), como por exemplo na Medicina, Direito, Educação, Comércio Eletrônico, Informática, Indústria, Projetos de Engenharia e Arquitetura. Detalhes sobre aplicações RBC podem ser vistas nos trabalhos de Watson (WATSON, 1997) e Lenz (LENZ, 1998).

No processo de decisão, RBC pode ser usado como um recurso poderoso. Em várias aplicações é o recurso de Inteligência Computacional básico para o apoio à decisão (algumas aplicações iniciais podem ser vistas em (HAMMOND, 1989)), para a análise e possível predição de resultados de acordo com o estado atual do problema. Como exemplo, o sistema ARCHIE-2 (DOMESHEK & KOLODNER, 1992) ajuda arquitetos a tomarem decisões sobre melhores soluções em projetos conceituais, AskJef (BARBER et al, 1992) que auxilia na elaboração de interfaces computacionais mais amigáveis e SCIED (KOLODNER, 1992) aplicado para auxiliar professores na escolha de métodos e atividades pedagógicas mais recomendadas para determinadas classes. A partir das características do problema atual (do seu cenário) e da recuperação de casos passados similares, pode-se fazer comparações e traçar estratégias análogas para resolver a nova situação (recuperando-se casos de sucesso) e, ao mesmo tempo, evitar passos que resultaram em soluções cujos resultados foram negativos (recuperando-se casos de falha). Sem dúvida, este mecanismo configura-se em um apoio natural para o processo de tomada de decisão, uma vez que uma ferramenta RBC pode servir como auxiliar na lembrança de episódios passados que podem estar esquecidos para o usuário humano ou que foram vividos por outras pessoas e que podem ser recuperados pela memória do sistema.

Outra proposta importante de RBC, que também baseia-se nesta forma natural de raciocínio, é o recurso de aprendizado. Como o ser humano aprende à medida em que adquire mais experiência, à medida em que enfrenta novos problemas e aprende com as lições que estes problemas ensinam, um sistema RBC melhora seu desempenho (*aprende*) com a aquisição de novos casos relevantes que podem ser posteriormente recuperados na análise de uma nova conjuntura. O aprendizado em RBC ocorre como o produto natural do processo de resolução dos problemas. No processo de análise de políticas este é um ponto relevante, uma vez que trata-se com problemas complexos,

cuja solução depende também da experiência e habilidade adquirida pelo Tomador de Decisão.

Alguns dos pontos importantes que estimulam o uso de RBC:

- Facilidade na aquisição de conhecimento em um determinado domínio, mesmo em áreas ainda pouco estruturadas e/ou muito complexas;
- Soluções podem ser propostas mesmo que não haja uma solução matemática ou algorítmica disponível;
- O aprendizado se realiza de forma automática com a aquisição de novos casos, sem a necessidade de interferência constante do engenheiro de conhecimento (pode-se dizer que baseia-se em uma forma de aprendizado mais natural do que a proposta por alguns outros modelos);
- Com o tipo de aprendizado proposto pelo método RBC, a forma de resolução de problemas vai se aperfeiçoando com o próprio uso constante do sistema;
- A interação e o poder de explicação são superiores às de outros métodos, visto que a justificativa da solução proposta é diretamente representada pelo caso recuperado (e pela sua conseqüente adaptação);
- O conhecimento adquirido está explícito na descrição dos casos armazenados, ou seja, não é de difícil acesso como em alguns outros modelos;
- Esta técnica possui um bom poder de generalização, já que soluções antigas podem servir de base para a solução de novos problemas (o método reage a novos problemas com o conhecimento disponível);
- Diferentemente de sistemas baseados em regras, não é necessário um conhecimento específico prévio detalhado sobre o domínio para montar um sistema RBC;
- Se um sistema RBC pode não fornecer uma resposta exata para um novo problema, ele ao menos provê uma sugestão de solução em uma situação similar ou provê um contexto para analisar/criticar um novo problema,

sugerindo caminhos promissores e alertando sobre situações a serem evitadas.

Como qualquer outro método de auxílio, RBC tem as suas limitações. Algumas destas limitações são: em alguns domínios, é difícil manter-se uma quantidade representativa de casos (cobrir-se razoavelmente o domínio com casos representativos), alguns algoritmos de recuperação não são suficientemente acurados para a obtenção dos casos mais similares e são lentos quando aplicados em algumas situações reais com bases de casos muito grandes (estas limitações são mais claras quando a abordagem RBC é aplicada isoladamente). Entretanto, a diversidade de vantagens enumeradas e detalhadas anteriormente superam em muito estas deficiências, além disto, algumas delas não são significativas para esta tese, devido ao objetivo de uso que se propõe aqui, e devido a esta ser uma metodologia híbrida com apoio mútuo entre os módulos.

### 3.3.2 RBC com Dados Difusos

Aplicações tradicionais RBC usualmente trabalham sobre informações precisas e quantitativas disponíveis sobre os casos. Entretanto, há muitas situações nas quais as informações (como as relativas à descrição do problema ou solução) sobre um episódio não são valores exatos e sim expressam incertezas através de valores difusos. O tratamento de informações difusas em uma abordagem RBC acarreta modificações importantes não só na forma de armazenamento dos dados relativos aos casos (na representação interna, ou seja, na estrutura da base de casos), mas principalmente no algoritmo de recuperação (no cálculo de similaridade). Também os valores para os índices normalmente são representados por conjuntos difusos e, portanto, devem ser manipulados de forma adequada.

O cálculo de similaridade com índices difusos pode ser realizado através de cálculos de distância entre números difusos. As distâncias são calculadas entre os valores para os índices no novo caso e os valores para os índices nos casos armazenados na base. O cálculo total da distância resume o nível de similaridade entre o caso novo e

o caso retido, nas dimensões expressas pelos índices. Este cálculo de distância pode ser efetuado, por exemplo, através da Distância de *Hamming* ou através da Distância *Euclidiana*. O fundamento deste cálculo é o *algoritmo da vizinhança* (ABEL, 2000) que compara e busca o caso mais próximo ao novo episódio percorrendo todos os casos da base. De qualquer forma, em se tratando de conjuntos difusos, este cálculo de distâncias envolverá a aritmética de números difusos. Como este tipo de operação requer um esforço computacional mais elevado, deve-se ter um cuidado ainda maior com a escolha dos índices para que mantenha-se um nível aceitável de desempenho na fase de recuperação de casos.

Quanto ao armazenamento dos valores difusos, cada caso precisa representar internamente o número difuso correspondente ao valor lingüístico que caracteriza o valor de cada atributo a ser mantido (juntamente com sua respectiva função de pertinência). Usualmente os valores armazenados para os atributos nos casos são apenas referências a valores lingüísticos, cuja representação matemática da função de pertinência é definida e armazenada em outro local no banco de dados. Portanto, a base de casos apresenta como fundamento um banco de dados difuso, Kasabov (KASABOV, 1996) mostra alguns detalhes sobre este tipo de banco de dados (a opção mais usual é por um bancos de dados relacional), no qual cada coluna da tabela principal representa uma importante característica dos casos a ser mantida e cada linha da tabela representa um caso específico. Dependendo da complexidade dos casos, estes podem estar organizados em uma série de tabelas relacionadas (é justamente o que ocorre com a base de casos no módulo RBC proposto nesta tese). Logicamente que, além do banco de dados relacional difuso, para a efetiva implantação da abordagem RBC, devem ser construídos algoritmos de recuperação que manipulem estes valores vagos difusos, além de métodos de indexação que também trabalhem sobre esta informação incerta. O banco de dados relacional é usado apenas como recurso de implementação no caso desta tese. Uma das principais diferenças de um sistema RBC para um sistema de banco de dados puro e simples é que em RBC a resposta a uma consulta é obtida por semelhança e um banco de dados tradicional apenas retornará registros que casam perfeitamente em uma busca (não há qualquer capacidade de extrapolação).

Para exemplificar uma base de casos com informação difusa, a Tabela – 3.3 (adaptada de (PHUONG, 2001)) mostra uma parte de uma base de casos sobre pacientes



(cada um representando um caso) com o relativo diagnóstico de doença. São oito sintomas, características importantes para a definição do diagnóstico, cujos respectivos valores são mais adequadamente representados através de termos lingüísticos imprecisos do que por valores exatos. A similaridade entre casos armazenados e o novo caso apresentado é feito através de cálculo de distâncias entre os sintomas do novo paciente e os sintomas apresentados em cada um dos pacientes mantidos na base. O caso mais próximo indicará o possível diagnóstico para o novo paciente (detalhes sobre o cálculo das distâncias pode ser verificado no trabalho de Phuong (PHUONG, 2001)).

<i>Pacientes</i>	<i>Tosse com Sangue</i>	<i>Perda de Peso</i>	<i>Febre</i>	<i>Tosse</i>	<i>Dor no Peito</i>	<i>Pele Amarelada</i>	<i>Acidez</i>	<i>Cólica Lateral</i>	<i>Diagnóstico</i>
<i>P1</i>	Muita	Muita	Alta	Média	Pouca	Pouco	Pouco	Ausente	<b>Tuberculose</b>
<i>P2</i>	Pouca	Média	Alta	Muita	Muita	Ausente	Ausente	Ausente	<b>Pneumonia</b>
<i>P3</i>	Ausente	Pouca	Baixa	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Muita	<b>Apendicite</b>
<i>P4</i>	Ausente	Média	Baixa	Ausente	Ausente	Muito	Ausente	Muita	<b>Hepatite</b>
<i>P5</i>	Ausente	Pouca	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Muita	Pouca	<b>Estomatite</b>

Tabela – 3.3 Base de casos com dados difusos (tabela adaptada de (PHUONG, 2001) )

### 3.3.3 Estrutura do Módulo RBC

Como complemento importante aos outros dois módulos desta tese, o módulo RBC desempenha o papel de memória inteligente para o Tomador de Decisão em sua tarefa de exploração, análise e previsão no problema proposto. Nesta tarefa, a disponibilidade de episódios passados relevantes poderá fornecer um indicativo de decisões que levaram ao sucesso de uma solução ou mesmo um alerta sobre caminhos a serem evitados. A montagem de uma base de casos pelo TD aumenta suas chances de obter resultados mais reais e positivos (uma vez que novos cenários de políticas podem ser similares a situações já experimentadas) ao mesmo tempo que fornece informações muito úteis para a elaboração de simulações. A idéia do módulo RBC é oferecer mais subsídios para a decisão – como um recurso extra de análise importante dentro da

abordagem – e não servir como a ferramenta de solução final para o problema, como ocorre com abordagens RBC isoladas.

Diversas das vantagens importantes apresentadas na introdução desta seção foram marcantes para a opção pelo mecanismo RBC. Algumas delas, como seu poder de explicação de resultados e de aprendizado com a mínima intervenção do TD, a possibilidade de oferecer recursos de análise mesmo quando não se conhece em profundidade um domínio e a facilidade na aquisição de conhecimento, foram essenciais devido à característica de generalidade desta metodologia.

Nesta tese, o uso de RBC procura atingir dois objetivos fundamentais:

- Aumentar o apoio à decisão, mantendo uma base de casos cujos episódios podem ser recuperados para análise em uma nova situação. Desta forma, o Tomador de Decisão pode se inspirar em casos passados e adaptar antigos caminhos para novos problemas (ações importantes, por exemplo quanto à modificação de pesos e/ou alterações em valores de critérios, realizadas em um episódio passado são recuperadas e podem ser adaptadas para o novo problema). Para verificar situações negativas que devem ser evitadas ou mesmo para projetar e prever possíveis efeitos na alteração de desempenhos de alternativas, em pesos de critérios ou na inclusão de um novo critério relevante. Sem este recurso, a experiência passada é desprezada e a exploração do novo problema é feita unicamente através da análise isolada do novo cenário. O raciocínio disponibiliza ações objetivas que foram experimentadas. Uma estratégia similar pode representar o detalhamento e a implementação prática de uma política. Raciocionar aqui significa compreender melhor o cenário político e prover mecanismos robustos de simulação. É justamente este um dos objetivos básicos do módulo RBC e
- Disponibilizar um método prático e genérico de aprendizado para a abordagem. Na medida em que forem sendo armazenados novos casos na base sobre o domínio do problema, o método poderá melhorar seu desempenho na tarefa de apoio à predição de situações, no apoio à decisão e no apoio à simulação de cenários. Quanto mais experiências relevantes (que mostrem lições úteis) estiverem disponíveis, certamente maior será o

conhecimento adquirido e disponibilizado para o TD. Os casos com episódios importantes do passado tornam-se uma rica memória de possíveis soluções similares (ou caminhos de ação) que evoluirá com a própria utilização do recurso por parte do TD.

Outra possibilidade bastante promissora relaciona-se com a capacidade de se compartilhar a base de episódios entre vários TD em um mesmo domínio (LEAKE, 1996). Desta forma, o modelo pode também servir como uma verdadeira memória corporativa, na qual o conhecimento de diversas pessoas de uma mesma área é compartilhado. Esta possibilidade de compartilhamento de experiências certamente intensifica o poder de análise e aumenta as chances de se obterem soluções mais adequadas para novos problemas (o potencial de apoio é maximizado).

Como a abordagem proposta nesta tese é uma metodologia de apoio à decisão genérica, são mantidas distintas bases de casos conforme o tipo de política ou projeto no qual o TD está envolvido. Políticas que possuem critérios de avaliação completamente distintos armazenam seus casos em bases separadas, e o procedimento de recuperação de casos faz a pesquisa na base de casos de acordo com o tipo de política (ou projeto) ao qual o novo caso se refere. Por conseguinte, deve o TD organizar adequadamente suas bases conforme o tipo de problema em análise. A abordagem disponibiliza recursos de interface e uma estrutura interna para que esta organização seja efetivada. Projetos são entidades de mais alto nível compostos por casos, critérios e a descrição de uma escala de pesos. Esta subdivisão em bases separadas, além de organizar adequadamente as informações, diminui o número de casos a ser percorrido pelo método de recuperação na busca por casos mais similares (obtem-se então um melhor desempenho na recuperação). O objetivo é manter-se em cada uma destas bases uma quantidade máxima de poucas centenas de episódios, o que é um número comum e aceitável em muitas aplicações de RBC. Para bases maiores, outros tipos de métodos de recuperação são indicados e organizações de bases de casos mais sofisticadas como *Redes de Feições* ou *Árvores de Discriminação* (ABEL, 2000) podem ser implementadas.

Para cada caso específico, permite-se basicamente manter as seguintes informações:

- *Campos Descritivos do Caso:* Determinam o nome do caso, sua data de criação e uma descrição textual que pode ser usada como recurso para detalhar outras informações sobre o caso;
- *Situação Inicial:* A situação inicial do caso é descrita através das alternativas disponíveis naquele momento, juntamente com os pesos inicialmente definidos para os critérios e os desempenhos de cada alternativa em relação a cada critério (cenário inicial). Tem-se então um descritivo da matriz de decisão em uma primeira fase de análise do problema;
- *Ocorrências Importantes:* Para cada caso armazenado, o TD pode elaborar uma lista de ocorrências (ou de ações) importantes que alteraram o andamento do problema. Durante a realização de alguns testes (simulações) o TD pode gravar o tipo de alteração realizada e o impacto no ordenamento das alternativas. Podem ser gravadas alterações em pesos de critérios, desempenhos de alternativas ou mesmo a inclusão (ou remoção) de alternativas e/ ou critérios. Um campo textual deve ser preenchido pelo TD descrevendo o tipo de impacto, ou seja, se resultou em algo positivo ou negativo para seu objetivo no caso descrito. Esta última informação pode fornecer indicativos muito importantes quando o caso é recuperado;
- *Situação Final:* Após realizado o conjunto de testes e simulações que compreendem o processo de análise do TD, este é convidado a armazenar a situação final do caso, ou seja, qual a aparência final do cenário após efetivadas as ocorrências importantes. De forma similar à situação inicial, tem-se aqui a lista de alternativas final, seus desempenhos e pesos finais para os critérios. Esta informação resume a evolução do caso e
- *Resultado Final do Caso:* Todas as informações anteriores compreendem a descrição do problema/situação e a descrição da solução (correspondem aos dois primeiros itens de conteúdo de um caso comentados na parte introdutória desta seção). Este último item é importantíssimo quando da recuperação do caso, pois resume a resposta obtida na prática com a aplicação da solução final. Um caso recuperado não é tão útil quando este não traz informação sobre a avaliação do seu resultado, pois este pode ter

tido muito positivo ou negativo quanto à sua implementação real. Com isto em mãos, o TD poderá partir para uma solução nova, possivelmente adaptando ações e ocorrências de uma situação passada análoga (e evitando falhas de estratégia).

Estas informações são suficientes para descrever um caso específico, além de comportarem os índices fundamentais de recuperação (veja detalhes sobre o processo de indexação no Apêndice – 1). É conveniente salientar que no item *Ocorrências Importantes* pode-se manter não apenas alterações de pesos de critérios e de desempenhos de alternativas, mas também decisões mais gerais (como a remoção de um critério que demonstrou não ser mais relevante no ordenamento das alternativas) que devam ser lembradas no momento de recuperação do caso.

Antes de realizar o processo de recuperação de casos, o novo episódio já deve estar com a situação inicial definida, ou seja, com os critérios a serem aplicados já estabelecidos, com a lista inicial de alternativas definida e com os pesos para os critérios também definidos. Além disto, a matriz de decisão com os desempenhos iniciais das alternativas relativos aos critérios já deverá estar montada, assim como os valores ideais positivos e negativos esperados para cada critério. Estas informações são fundamentais para o processo de busca, pois algumas delas correspondem aos índices generalizados usados para a comparação com os casos armazenados.

Uma das implicações de um módulo RBC em um sistema de auxílio à decisão genérico é que não existem atributos fixos usados como índices para a busca de casos similares. Quando um modelo RBC é aplicado a um domínio específico, pode-se determinar campos que servirão como índices. No módulo RBC desta tese, o Tomador de Decisão monta sua estratégia de recuperação através da escolha de opções generalizadas de similaridade, ou seja, características que são importantes para diferenciar casos em qualquer área de domínio. Estas opções generalizadas produzem tanto análises simples como a existência de casos na base que usaram critérios com pesos similares aos usados nos critérios do caso atual, como comparações mais complexas que verificam a existência de casos similares em relação a situações iniciais de desempenhos de alternativas sobre critérios, juntamente com pesos e soluções ideais

(com cenários similares). Alguns dos principais índices generalizados predefinidos na plataforma são:

- Busca de casos por valores *Ideais Positivos e Negativos* similares;
- Busca por *Pesos de Critérios* similares e
- Busca por *Cenários* similares, ou seja, casos que usam basicamente os mesmos critérios, possuam pesos similares para os critérios e com valores de ideais similares.

Estas são apenas algumas opções de índices predefinidos. Outra opção disponibilizada pelo módulo permite que o próprio TD defina que critérios mais relevantes serão usados na busca. Nesta modalidade, a comparação entre o caso novo e os casos retidos é somente realizada nestes critérios escolhidos. Para problemas de análise de políticas esta opção é relevante, uma vez que certos aspectos podem ser mais significativos no processo de comparação de cenários.

A Figura – 3.16 mostra a interface principal do módulo RBC:

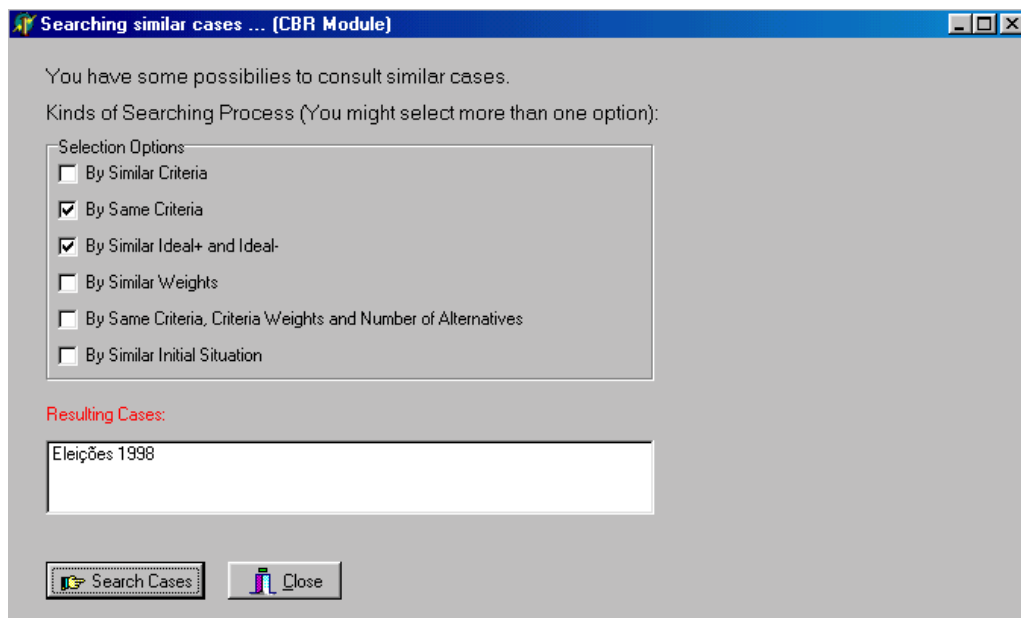


Figura – 3.16 Interface do Módulo RBC

Como o tratamento de incertezas é um dos objetivos deste trabalho, as informações armazenadas sobre os casos são, em sua maioria, valores difusos a respeito

de desempenhos de alternativas, valores difusos sobre soluções ideais positivas e negativas e novamente valores difusos sobre pesos de critérios.

Portanto, dependendo da opção de verificação de similaridade escolhida, haverá uma comparação de similaridade entre números difusos com funções de pertinência distintas, o que estimula o uso dos números transformados em números difusos L-R para agilizar as comparações. O caso recuperado será aquele com a menor distância dos seus índices em relação aos índices do novo caso descrito (distância esta calculada via diferenças entre os valores difusos que representam seus índices e os valores difusos que representam os índices do novo caso). A fórmula 3.17 abaixo mostra este cálculo de distância aplicado em relação a cada caso  $i$  retido na base:

$$d_i = \sum_{j=1}^n |\tilde{N}_j \ominus \tilde{R}_{ij}| \quad (3.17)$$

Onde:

$n$  é o número de critérios usados como índices de análise;

$\tilde{N}_j$  representa o valor difuso (relativo a peso ou valor ideal) para o novo caso no critério  $j$  e

$\tilde{R}_{ij}$  representa o valor difuso (relativo a peso ou valor ideal) para o caso retido  $i$  no critério  $j$ .

A operação de diferença apresentada na fórmula 3.17 acima obedece ao mesmo tipo de cálculo entre números difusos L-R já discutido através da fórmula 3.10. Os casos retidos com as menores distâncias  $d_i$  são recuperados.

Vale ressaltar que, antes de realizar os cálculos de distância, os universos de discurso das diversas variáveis (critérios e pesos) do problema são normalizados para o intervalo unitário  $[0,1]$ , para evitar problemas quanto a manipulação de escalas distintas. Este melhor desempenho na comparação de valores difusos, usando-se a representação

de números difusos L-R, é considerado um ponto importante, uma vez que a análise de similaridade pode envolver índices complexos e/ou bases de casos um pouco extensas.

Os casos mais similares, de acordo com os requisitos (índices) escolhidos pelo TD, são apresentados. Selecionando um dos casos, o TD pode observar todos os detalhes do caso recuperado, como seu descritivo geral, a situação inicial (pesos iniciais dos critérios e desempenhos iniciais das alternativas em cada critério), ocorrências importantes que foram gravadas, descrevendo passos fundamentais que levaram à solução final, a situação final do caso (novamente em relação a pesos e desempenhos de alternativas) e ainda um descritivo sobre o resultado final do caso, ou seja, as cinco informações detalhadas anteriormente. Estas informações sobre o caso recuperado servem como fundamento para a análise do TD, ou seja, primeiramente será avaliado de forma mais detalhada o nível de similaridade deste caso recuperado em relação ao novo problema. A partir desta análise, o TD poderá dedicar especial atenção às ações (ocorrências importantes) que foram realizadas durante o andamento do caso e também a respeito do resultado final obtido com a aplicação da solução sugerida. A Figura – 3.17 mostra a descrição de um dos casos recuperados no exemplo das eleições:

The screenshot displays the 'Similar Case Details' window with the following data:

**Case Information:**  
Case Name: Eleições2000 | Main Objective: | Case Date: 06/12/2000 | Case Description: Eleição realizado no ano de 2000

**Initial Case Situation:**

ALTERNATIVES:	CRITERIA VALUE FOR SELECTED ALTERNATIVE:		
	CRITERION NAME:	WEIGHT:	VALUE:
Candidato1	Qualidade Pessoal	MuitoImportante	MédiaBaixa
Candidato2			
Candidato3			
Candidato4			
Candidato5	Investimentos em Campanha	MuitoImportante	Médio

**Important Occurrences:**

Alternative:	Old Criterion Weight Value:	New Criterion Weight Value:
Candidato5		
Criterion:	Old Criterion Value:	New Criterion Value:
Qualidade Pessoal	MédiaBaixa	MédiaAlta
Occurrence Description:	Melhoria na imagem pessoal do candidato via campanha.	

**Final Case Situation:**

ALTERNATIVES:	CRITERIA VALUE FOR SELECTED ALTERNATIVE:		
	CRITERION NAME:	WEIGHT:	VALUE:
Candidato1	Qualidade Pessoal	MuitoImportante	Média
Candidato2			
Candidato3			
Candidato4			
Candidato5	Investimentos em Campanha	MuitoImportante	MédioBaixo

**FINAL CASE RESULT:** Ranqueamento final dos candidatos coincidiu com a ordem obtida pelos candidatos na eleição real.

Figura – 3.17 Informações sobre um caso similar recuperado no exemplo das eleições



As ações (ocorrências) importantes sobre o caso recuperado poderão servir de suporte para a exploração do novo episódio. Se foram úteis e surtiram efeito em um caso similar, deve-se ao menos levá-las em consideração para a elaboração de simulações no novo problema. Por exemplo, a modificação no peso de algum critério pode ter alterado positivamente o panorama do ordenamento das alternativas no caso passado e podem surtir efeito similar no episódio atual. O processo de adaptação para o uso destas ações é feito basicamente de forma manual pelo próprio TD que irá ponderar a viabilidade de aproveitá-las para a nova situação. Este tipo de adaptação é conhecida como “reutilização derivacional” (AAMODT & PLAZA, 1994), pois reutiliza-se o método de construção da solução (os passos importantes) e não a solução em si. Este processo de adaptação exige um bom nível de conhecimento sobre o domínio e será altamente dependente do contexto. Para uma abordagem não específica como esta, regras automáticas predefinidas de adaptação seriam inicialmente inviáveis, a não ser que fossem diretamente construídas pelo próprio TD para atenderem ao seu domínio específico. Esta possibilidade de definição de um mecanismo automatizado de apoio à adaptação será um dos alvos no melhoramento futuro desta metodologia. No tocante ao processo de adaptação, o apoio disponibilizado abrange a fácil implementação das modificações propostas e a possibilidade de rapidamente testar e verificar os resultados obtidos.

Antes de armazenar o novo episódio como um caso disponível para recuperação na base de casos, procede-se à etapa conhecida como processo de *Revisão* (veja detalhes no Apêndice – 1). A *Revisão* compreende analisar a qualidade da solução derivada em uma situação real. Na verdade, esta fase é usualmente realizada exteriormente ao sistema, no próprio mundo real. Na abordagem desta tese, significa preencher o último item de conteúdo de um caso, ou seja, o “*Resultado Final do Caso*”. Este retorno sobre a aplicação prática da solução pode ser demorado, mesmo assim o caso pode ser armazenado e alerta-se que o caso ainda não foi avaliado. Em caso de resultado de falha, pode-se armazenar explicações sobre o porquê do resultado negativo e esta lição importante estará disponível quando o caso for recuperado no futuro.

A última fase, correspondente à “*Retenção*” (Aprendizagem). No módulo RBC desta tese, a retenção de um caso é efetivado no momento em que se armazena a situação final do caso, ou seja, o estado final dos pesos dos critérios, da matriz de

decisão e da lista de alternativas após realizados os testes e simulações sugeridas pelo TD. Apesar de ser usual a armazenagem do caso recém explorado pelo TD, este poderá não fazer parte da base de casos se o usuário assim o desejar. O TD analisa a importância do caso para armazená-lo ou não na base de casos, ou seja se este realmente comporta pelo menos uma lição nova e útil que deva ser aprendida e disponibilizada na base de casos do sistema. Se já houver caso na base com lição muito similar, o novo caso não trará acréscimo significativo e portanto pode não trazer maiores vantagens em ser retido e aprendido. Com isto completa-se o processo e contempla-se as quatro etapas fundamentais do ciclo de um mecanismo RBC (KOLODNER, 1993; LENZ, 1998). O mecanismo RBC está completamente funcional nesta abordagem proposta e sua aplicabilidade é essencial no processo de análise detalhada de políticas. O raciocínio por analogia sugerido resgata experiências passadas, complementando o aparato de apoio. Reviver estas experiências significa estar mais preparado para tomar decisões em um novo contexto.

Os passos básicos no módulo RBC são apresentados na Figura – 3.18 abaixo (ações em destaque correspondem às 4 etapas fundamentais do ciclo RBC):

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Fornecer informações básicas iniciais sobre o novo caso: critérios a serem utilizados, lista de alternativas, pesos dos critérios e matriz de decisão</i></li> <li>2. <i>Iniciar módulo RBC</i></li> <li>3. <i>Escolher índice para recuperação</i></li> <li>4. <b>Recuperar</b> <i>na base de casos episódios similares, via cálculo de similaridade, através do índice escolhido</i></li> <li>5. <i>Enquanto caso não finalizado</i><br/><i>Realizar simulações <b>adaptando</b> ações importantes do caso similar recuperado (TD define momento para encerrar testes e análise com base em seus objetivos)</i></li> <li>6. <b>Revisar</b> <i>caso e determinar o resultado final do caso</i></li> <li>7. <i>Se caso novo oferece lição importante, <b>reter</b> caso armazenando informações descritivas, situação inicial, situação final, ocorrências importantes e resultado final do caso</i></li> <li>8. <i>Finalizar módulo RBC</i></li> </ol> |
|--|

Figura – 3.18 Passos básicos no Módulo RBC

O esquema da Figura – 3.19 ilustra o processo do Módulo RBC. Vale ressaltar que uma descrição mínima do cenário novo é necessária para que se possa realizar os cálculos de similaridade. O esquema mostra um laço de repetição que representa o processo de análise realizada pelo Tomador de Decisão sobre o cenário de sua política.

Enquanto este processo não se encerra, possivelmente o TD executará o módulo RBC diversas vezes, sempre que modificações de cenário forem introduzidas.

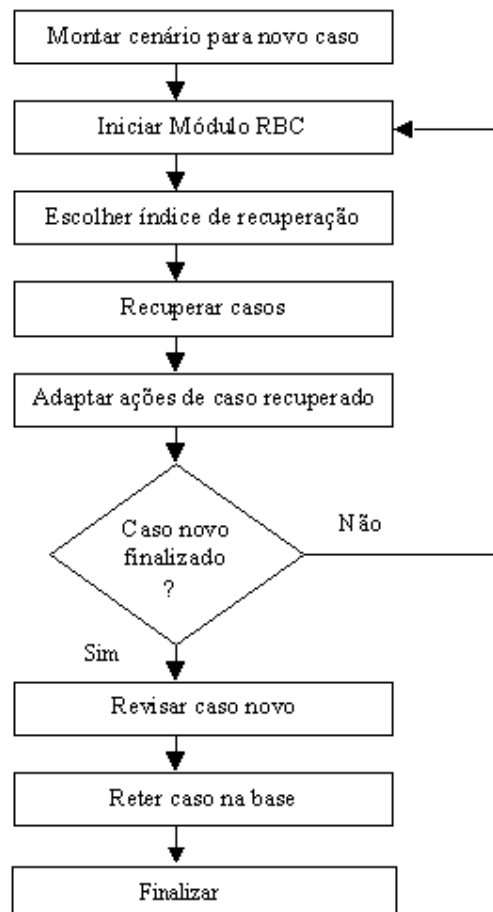


Figura – 3.19 Esquema de funcionamento do Módulo RBC

A área de RBC ainda é relativamente nova e a manipulação de valores difusos como informações e índices sobre casos é ainda mais recente. Novas técnicas ainda devem ser pesquisadas para que se explore melhor estas informações imprecisas em bases de casos. A idéia do mecanismo RBC aqui proposto é instigar, discutir e provar o grande potencial que esta técnica apresenta no auxílio à tomada de decisão, mesmo quando esta decisão seja baseada em dados imprecisos.

#### **4 Funcionamento da Metodologia através de um Exemplo Prático**

A metodologia híbrida proposta nesta tese funciona, na prática, como um recurso de apoio genérico à decisão em problemas que envolvam “políticas”. Em seu sentido mais amplo, grande parte dos problemas que envolvem tomada de decisão trazem algum aspecto político. A escolha de um funcionário, entre diversos candidatos, por uma empresa envolve uma série de critérios particulares que descrevem a política de contratação da empresa, ou seja, se esta privilegia mais a experiência profissional do candidato, sua formação acadêmica, ou ainda seu potencial para trabalho em equipe. Focando em uma área completamente distinta, como na área educacional, a política está novamente presente e é chave para o processo de decisão. O método didático a ser adotado em uma disciplina por um professor representa a política de ensino a ser praticada. Esta política de ensino a ser escolhida dependerá de diversos fatores (critérios) que compreendem: tamanho da turma, perfil dos alunos e sucesso do método didático em situações passadas. A política traduz objetivos, regras, restrições e é usualmente representada pelos critérios de análise escolhidos e por seus respectivos pesos de importância.

Várias situações, em áreas bastante distintas, foram sugeridas e indicadas como promissoras para análise através desta metodologia. Entre estas, problemas envolvendo políticas públicas: de saúde, de educação e soluções em transportes públicos, problemas ligados a recursos humanos e política de informática para empresas e órgãos públicos. Estes são apenas alguns dos problemas apresentados e cujas descrições apontam forte viabilidade para exploração através da metodologia descrita.

A escolha da aplicação exemplo recaiu no problema de previsão de possibilidades eleitorais. Esta preferência deveu-se ao conhecimento prévio adquirido em diversos trabalhos (ROYES & BASTOS 2001b; ROYES & BASTOS 2001c; ROYES & BASTOS 2002) já realizados na área, e pelas características fundamentais do problema que enquadram-se nos requisitos e abordagem de solução da metodologia. Cientistas políticos usam atributos relevantes que descrevem cenários de eleições para tentarem prever possibilidades de partidos e candidatos. Estas previsões atendem a

diversas finalidades, como a decisão sobre candidatos mais adequados para partidos políticos ou mesmo servem como referência para candidatos aperfeiçoarem suas propostas e atuação durante a campanha.

Uma das características mais marcantes deste tipo de previsão (e que indica o uso desta metodologia como recurso de auxílio) é que seu processo de análise e raciocínio manipula informações incertas. Valores numéricos precisos não estão usualmente disponíveis, e mesmo quando disponíveis, não são diretamente aplicados por especialistas em política para o processo de avaliação do cenário de eleições. A seção seguinte deste capítulo investiga em detalhe o problema, mostrando o tipo de incerteza presente nesta situação e como a metodologia pode ser aplicada para representar o processo de julgamento e análise empregado neste caso.

O detalhamento desta aplicação exemplo servirá para demonstrar todo o processo de operação do modelo proposto, desde a definição inicial do cenário do problema, ordenamento das alternativas (candidatos), até a simulação de alterações no cenário inicial descrito. Os passos de solução apresentados de forma teórica no capítulo anterior serão demonstrados na prática e os resultados obtidos serão cuidadosamente analisados. A primeira seção deste capítulo descreve detalhes sobre o problema de previsão eleitoral, a aplicabilidade da metodologia e apresenta uma breve comparação com modelos estatísticos usados neste tipo de problema. A Seção – 2 descreve os critérios de avaliação eleitoral, como estes são representados no modelo, a escala de pesos disponível, os pesos definidos para cada critério, os candidatos (alternativas) a serem avaliados e a matriz de decisão inicial. Na seqüência, a Seção – 3 examina todo o processo multicritério aplicado para definir o ordenamento dos candidatos. A Seção – 4 apresenta conclusões sobre os resultados propostos e como estes podem ser úteis para o Tomador de Decisão. A seguir, a Seção – 5 mostra a operação do módulo RBC, utilizado como recurso para simular e explorar o cenário inicialmente descrito (uma eleição anterior, com cenário similar é recuperada). Finalmente, a Seção – 6 mostra perspectivas concretas sobre outras possibilidades de aplicações.

#### **4.1 Descrição do Problema**

O processo de raciocínio empregado por especialistas humanos na avaliação de chances eleitorais é fundamentado em sentenças e inferências com alto grau de incerteza (é uma característica comum em problemas reais e, principalmente, em problema na área de ciências humanas). Os critérios para avaliação de cenários políticos são usualmente subjetivos (qualitativos) e requerem uma análise que diretamente manipule estes valores incertos. A forma usual de tratamento de incerteza em previsão eleitoral aplica métodos estatísticos e probabilísticos tradicionais (alguns modelos são descritos em (KING, 1993)). Um nível razoável de sucesso, em situações específicas passadas, tem sido obtido com técnicas estatísticas, entretanto, estes modelos não tratam um tipo de incerteza comum nesta área: a vagueza (KLIR, 1995). A vagueza relaciona-se ao grau de pertinência de um objeto a um certo conceito, que pode variar desde a não pertinência total (valor 0) até a pertinência total (valor 1). É justamente este tipo de incerteza que rodeia a avaliação eleitoral. Valores precisos não fazem muito sentido neste processo e usualmente não estão disponíveis para análise. O exemplo abaixo ilustra uma afirmativa hipotética que, de forma alguma, condiz com o tipo de inferência utilizada por especialistas em política:

“O nível de aceitação popular do candidato C é igual a 0.86 e a aceitação popular de seu partido é igual a 0.94, então a possibilidade do candidato C ser eleito é igual a 0.91.”

Os valores numéricos precisos para os quesitos de avaliação são bastante irrealistas e contraditam com a informação vaga que usualmente condiciona a opinião dos especialistas. A opinião do eleitor, normalmente mutável e também vaga, é outra fonte de incerteza que inviabiliza qualquer tipo de juízo exato por parte do especialista.

A forma natural de raciocínio para este mesmo caso certamente seria:

“O nível de aceitação popular do candidato C é alto e a aceitação popular de seu partido é também alta, então a possibilidade do candidato C ser eleito é grande.”

A informação vaga traduz de maneira mais acurada a situação real. Valores como “alto” e “grande” definem conceitos subjetivos que representam adequadamente o cenário eleitoral. Este fato é confirmado pela verificação de que alguns critérios para a avaliação de candidatos, como *Honestidade* e *Competência*, são extremamente subjetivos e dependentes da opinião direta do eleitor, portanto, não podem ser valorados

com exatidão (uma medição quantitativa é completamente inadequada aqui). É com base nestes termos vagos que o processo de análise se desenvolve e conclusões sobre possibilidades de eleição são elaboradas.

Conjuntos difusos implementam a segunda forma de raciocínio de forma computacional, representando a linguagem aplicada em previsão eleitoral de maneira direta e realística. A análise subjetiva e qualitativa é preservada e explorada através da definição de variáveis lingüísticas (que representam os critérios de avaliação) e seus respectivos conjuntos difusos. Os termos lingüísticos escolhidos para os critérios deste problema, bem como suas respectivas funções de pertinência, serão detalhados na seção seguinte.

Métodos probabilísticos exploram mais o aspecto de incerteza quanto à chance de ocorrência de determinado evento. A natureza deste tipo de incerteza é diferente da vagueza que se propõe tratar com a aplicação conjuntos difusos neste exemplo de eleições. Não são tratadas probabilidades de determinado candidato ser eleito, mas sim o quanto o seu perfil (representado por valores lingüísticos imprecisos) se aproxima de um perfil ideal, ou seja, qual a sua pertinência dentro deste perfil que agrega vários fatores importantes. Os dois candidatos cuja agregação destes aspectos subjetivos gerarem perfis mais próximos deste ideal serão os vencedores.

A literatura na área política apresenta diversos trabalhos que usam métodos estatísticos para a análise de fatores que influenciaram no resultado de eleições (ALVAREZ, 1998; ASHER, 1983; DALTON & WATTENBERG, 1993; KING, 1993). A análise de eleições já ocorridas é o mais comum. Entretanto, algumas poucas propostas procuram prever situações futuras quanto às chances de candidatos serem eleitos. Modelos estatísticos nesta área são numerosos e usualmente tentam prever o comportamento do eleitor através da estimação de equações obtidas por mecanismos como regressão linear (ASHER, 1983) ou logit binário e logit multinomial (ALVAREZ, 1998). Vale ressaltar que as pesquisas eleitorais não podem ser usadas como parâmetro de análise, uma vez que avaliam apenas o momento através da opinião do eleitor somente (fatores importantes que podem definir o resultado eleitoral não são analisados) e dificilmente conseguem prever com boa antecedência um resultado.

Alguns resultados positivos têm sido obtidos com estes tipos de modelos, entretanto, dificuldades para a aplicação prática destes modelos podem ser apontadas. Algumas suposições teóricas necessárias para métodos estatísticos não são sempre verificadas na prática. A suposição que variáveis randômicas possuem distribuições de probabilidade normais (usualmente a suposição mais requisitada devido a importantes características dela advindas) é somente assegurada pelo recurso do Teorema Central do Limite (THORNE & CARLSON, 1997). Em casos de amostragens, este teorema não é sempre probabilístico. De fato, o pesquisador tem grandes chances de não obter a amostra randômica no sentido real exigido, quando este seleciona eleitores para auxiliarem na realização das previsões. Além disto, nestes casos, a suposição básica de independência (ou seja, a ocorrência de um evento não muda a probabilidade de ocorrência de um outro evento) entre os elementos da amostra não é verificada em certos contextos. O eleitor é normalmente influenciado pela ideologia dominante e por formadores de opinião, ou seja, são fortemente dependentes da atitude e posicionamento de outros eleitores. Portanto, duas suposições básicas de modelos estatísticos são de difícil verificação prática em previsão eleitoral: os eleitores (cuja opinião é parte da informação básica para a montagem das previsões) usualmente não apresentam a característica de comportamento normal e independente. Outro ponto a ser observado é que a montagem adequada de algumas equações depende de uma quantidade razoável de dados que muitas vezes não está disponível.

Este tipo de previsão com ferramentas estatísticas é mais aplicada em eleições com apenas dois partidos, como a norte-americana. Neste tipo de eleição, a possibilidade de se obter uma previsão correta é mais acentuada do que no caso de eleições multipartidárias. Este tipo de cenário envolvendo um amplo espectro de candidatos e de partidos é o que representa as eleições no Brasil e que será alvo do exemplo principal desta tese. Eleições multipartidárias descrevem situações mais complexas (um número maior de fatores e de critérios devem ser avaliados) e que exigem métodos de análise mais sofisticados do que os aplicados para eleições bipartidárias. São raros os modelos propostos para este tipo de eleição. Um exemplo de modelo estatístico para a análise de eleições multipartidárias (neste caso, o foco é as eleições britânicas) foi proposto por Alvarez (ALVAREZ, 1998), aplicando a técnica de análise baseada em logit condicional e probit multinomial.



Em contraste aos modelos estatísticos amplamente difundidos nesta área de previsão eleitoral, conjuntos difusos serão aplicados como base para uma nova visão no tratamento de incerteza neste campo. A sugestão é lidar com a vagueza existente na opinião do eleitor e no próprio conhecimento disponível para o especialista em política. A implementação deste exemplo servirá como uma ferramenta adicional bastante útil, basicamente nestas três situações práticas:

- Como instrumento para partidos tomarem decisões sobre candidatos mais adequados a partir de um cenário eleitoral descrito. Na fase de pré-campanha, diversos mecanismos são usados pelo partido (como a opinião de eleitores obtida via pesquisas e análise de especialistas) para tentar antever as possibilidades de eleição do pré-candidato. Neste aspecto, o recurso poderia não apenas indicar a viabilidade da candidatura, mas também servir como ferramenta para a simulação de outros cenários e como uma memória de casos passados similares;
- Como recurso de análise durante a campanha eleitoral. Durante a campanha, a ferramenta mais comum de avaliação da conjuntura eleitoral é a pesquisa de opinião. Este tipo de pesquisa representa a opinião quantitativa momentânea do eleitor e não leva em consideração outros fatores qualitativos estruturais que poderão alterar a sorte do candidato até o dia da eleição. Alguns destes fatores, como a estrutura da aliança partidária do candidato, os investimentos programados para a campanha e o tipo de tratamento imposto pela mídia para com o candidato são relevantes e serão analisados pelo modelo juntamente com aspectos de opinião do eleitor durante a campanha. Novamente simulações de cenários, a partir da situação corrente da campanha, podem ser facilmente sugeridas e rapidamente avaliadas pela abordagem. Com estas informações, mudanças no rumo da campanha do candidato podem ser realizadas. A sugestão do modelo, junto com as pesquisas, certamente aumentam o poder de análise;
- Em determinadas situações, a presença de um especialista humano experiente pode ser inviável. Apesar de não substituir o perito humano,

nestes casos o modelo poderia fazer este papel, na medida em que possui conhecimento especializado adquirido justamente destes especialistas em cenários políticos.

A situação real a ser analisada é a eleição presidencial de 2002 no Brasil. As possibilidades de chegar ao segundo turno (e de vencer a eleição) para cada um dos quatro principais candidatos serão avaliadas através de onze critérios indicados por cientistas da área política. O ordenamento final obtido reflete, de certa forma, a situação (cenário) no início da campanha, entretanto, como alguns critérios são estruturais, a previsão sugerida deverá se aproximar mais do resultado final real do que as indicações propostas pelas pesquisas neste início de campanha. Certamente o indicativo da possibilidade de eleição de cada candidato é um forte item de interesse e justificação para este exemplo, entretanto, a utilidade do modelo não está exatamente apenas em acertar os candidatos vencedores, mas sim em servir como ferramenta de simulação e como recurso para uma mais efetiva compreensão do complexo cenário apresentado.

#### **4.2 Descrição Detalhada do Cenário**

Duas informações básicas iniciais foram coletadas junto aos especialistas quanto ao processo eleitoral:

- Os critérios (atributos) que influenciam na previsão dos candidatos mais promissores. Estes critérios traçam o perfil de cada candidato e servem para distinguir as potencialidades de cada um. Os critérios estão basicamente subdivididos em critérios diretamente ligados às características pessoais do candidato (como *Honestidade*, *Índice de Rejeição* e *Competência do candidato*) e critérios relacionados a outros aspectos como *Aceitação Popular do Partido* e *Tempo de Horário Gratuito*. O perfil do eleitor brasileiro é geralmente classificado como não racional (SILVEIRA, 1998), ou seja, que vota mais influenciado por características de personalidade e imagem do candidato do que por posições ideológicas e partidárias (este fato corroborado pela literatura da área também influenciou na escolha dos critérios). Esta constatação levou os especialistas a sugerirem diversos

atributos de ordem pessoal que, certamente, são essenciais na escolha do eleitor e que, portanto, devem ser considerados nesta previsão. A análise da conjuntura nacional atual (social e econômica, principalmente) também foi cuidadosamente analisada pelos especialistas de modo a contemplar alguns fatores específicos que podem condicionar a opinião dos eleitores sobre os candidatos, especificamente para o pleito presidencial.

- Os respectivos pesos para cada critério. Certamente cada critério apresenta sua particular influência na definição das possibilidades eleitorais de cada candidato. Os pesos, em conjunto com os critérios, definem uma parte importante na descrição do cenário eleitoral. Um mesmo critério pode ser usado em diferentes eleições, mas possivelmente terá um diferente nível de preponderância, conforme as características particulares de cada situação. Uma escala de pesos foi inicialmente concebida, novamente com o auxílio dos especialistas no domínio. Esta escala compreende cinco valores lingüísticos (entre: *Menor Importância* e *Muito Importante*) que representam mais adequadamente (de forma mais natural para os especialistas) a incerteza sobre a importância de cada quesito, do que valores numéricos precisos. Com os valores desta escala, cada um dos especialistas em eleições foi convidado a opinar sobre o quanto cada critério influi na avaliação dos candidatos.

Após a definição dos critérios relevantes para a avaliação das possibilidades de eleição dos candidatos, o passo seguinte foi, novamente com o auxílio dos especialistas, especificar os conjuntos difusos para cada um dos critérios. Estes valores lingüísticos difusos serão usados posteriormente para avaliar o desempenho de cada candidato sobre o critério. Fazendo uma analogia aos pesos, estes termos lingüísticos definidos para os critérios funcionam como uma espécie de escala de desempenho para os candidatos. A definição do Universo de Discurso para os critérios foi basicamente estipulada (para grande parte dos critérios) através de uma faixa de valores no intervalo [0,100]. Esta escolha deveu-se à qualidade de representação e facilidade no tratamento destes valores por parte dos especialistas. Alguns critérios como *Competência* e *Honestidade* são

extremamente subjetivos, entretanto, alguma escala de valores numéricos seria necessária para representar o Universo de Discurso para estes quesitos, de forma a servir como base para a montagem posterior dos conjuntos difusos sugeridos. O formato das funções de pertinência dos conjuntos difusos para as escalas de desempenho nos critérios foi definido de maneira aproximada, utilizando-se a experiência dos especialistas e alguns dados e pesquisas disponíveis sobre o comportamento do eleitor em eleições passadas. Certamente alguns ajustes posteriores, utilizando-se, por exemplo, a análise de resultados de previsões passadas, poderiam auxiliar no processo de refinamento destas funções. É importante ressaltar que os critérios descritos a seguir foram estipulados através do consenso entre três cientistas políticos, após algumas reuniões e trocas de informações entre os mesmos. Estes especialistas garantem que uma previsão de resultados bastante razoável pode ser efetuada com base nestes quesitos.

#### 4.2.1 Critérios de Avaliação para o Pleito Presidencial de 2002

Os onze critérios definidos pelos especialistas são detalhados a seguir. Uma explanação inicial sobre o significado de cada critério é apresentada para mostrar como o cenário político é avaliado. As escalas de possíveis valores difusos, e suas respectivas funções de pertinência, são detalhadas no Apêndice – 3 desta tese.

##### *1. Organização do partido do candidato:*

Refere-se à organização do partido em todo o país. É obtida através da análise sobre o número de filiados, organização em diretórios regionais e comitês eleitorais, quantidade de representantes no congresso, existência de prévias internas organizadas para a escolha do candidato, resultados do partido em eleições anteriores para governador, prefeito e legislativo (entre outras informações). Certamente que o termo “partido” aqui é usado de forma mais ampla, indicando, em realidade, a organização da coligação partidária do candidato. A maior parte dos candidatos à presidência representa alianças e é a força de organização destas alianças que será verificada para cada

concorrente. Candidatos com partidos (ou alianças) mais organizados terão maiores chances de vitória.

### *2. Índice de Rejeição do Candidato:*

É um critério usado como contrabalanço em relação aos outros quesitos, ou seja, representa um aspecto negativo para os concorrentes (representa um indicativo bastante ruim quando atinge níveis altos). É obtido através da opinião espontânea dos eleitores em relação ao candidato no qual jamais votariam. Este tipo de informação é usualmente disponibilizada em pesquisas eleitorais.

### *3. Identificação Popular com o Partido do Candidato:*

Relaciona-se à afinidade dos eleitores com o partido do candidato. Esta identificação é muitas vezes mais relacionada com o tipo de proposta ideológica do partido. Partidos que defendem políticas sociais (educação, saúde, emprego), trabalhadores, minorias, que defendem o “povo”, passam uma imagem mais atrativa para os eleitores. A aceitação do partido também relaciona-se com a atuação deste em mandatos passados. Como o perfil do eleitor brasileiro é menos racional, importantes características ideológicas dos partidos são muitas vezes deixadas em segundo plano. Esta falta de interesse pelas convicções dos partidos muitas vezes se deve à própria falta de identidade de boa parte destes no país. A constatação desta realidade se refletirá no peso estipulado para este critério. De qualquer forma, representa um atributo positivo para o candidato.

### *4. Avaliação da Honestidade do Candidato:*

A subjetividade é a essência deste critério. Sua avaliação, para cada candidato, depende diretamente da opinião pessoal do eleitor. Uma análise objetiva deste atributo não é natural por parte de especialistas, mas certamente é importante, e até mesmo decisiva, no ponto de vista do eleitor, ainda mais para o perfil do eleitor brasileiro sabidamente pouco racional. Um candidato cujo perfil seja marcado pela honestidade, muitas vezes atinge uma parte substantiva do eleitorado que prefere um futuro

presidente íntegro (e não raras vezes em conjunto com a característica de competência) sobre qualquer outra característica ideológica ou partidária. Normalmente o eleitor é levado a acreditar na honestidade ou desonestidade do candidato pela avaliação da sua atuação pública recente e mesmo pela imagem que é construída através da mídia. O candidato aumenta suas possibilidades de eleição à medida em que se afasta de escândalos e convence o eleitor sobre sua dignidade.

##### *5. Competência do Candidato:*

Este é outro critério bastante subjetivo e também dependente da direta opinião dos eleitores. A imagem de candidato “competente” é usualmente relacionada pelo eleitor com mandatos anteriores nos quais o candidato apresentou ações positivas que marcaram sua administração. Empresários de sucesso também passam para o eleitor uma imagem de competência e de capacidade de bem governar. Em alguns cenários, esta imagem de “competência” atrai um grande volume de votos, ainda que este perfil não contemple um “alto grau de honestidade”. A propaganda dos candidatos também procura ressaltar esta característica no perfil do candidato, pois sabe que rende votos substanciais.

##### *6. Tempo de Horário Gratuito:*

Em pleitos mais recentes, o tempo de horário gratuito no rádio e televisão tem se mostrado um aspecto relevante para a consolidação da campanha dos candidatos. Embora possa parecer não decisivo, candidatos com um maior tempo para exporem suas idéias e projetos usualmente aumentam o nível de aceitação popular sobre suas propostas e, por conseguinte, suas possibilidades de vitória. Apesar do horário gratuito ser evitado por muitos eleitores, ele acaba sendo um dos principais meios para a definição do eleitor sobre uma ou outra proposta (outros meios, como debates e comícios, acabam não atingindo um número tão expressivo de eleitores). Embora algumas eleições passadas tenham mostrado que nem sempre o candidato com maior espaço de horário gratuito vença uma eleição, elas mostraram também que candidatos com pouco espaço raramente obtêm êxito.

### *7. Investimentos em Campanha:*

Refere-se ao montante de recursos destinados à campanha do candidato. É necessária apenas uma estimativa qualitativa (“pouco investimento” ou “muito investimento”) sobre valores, obtida através da análise sobre os tipos de apoios institucionais que serão ofertados ao candidato. Isoladamente pode não ser tão representativo, mas auxilia a revelar se haverá uma forte exploração em torno do nome do candidato e de suas propostas. Grandes investimentos em campanha não garantem a contrapartida em votos, entretanto, em muitos casos, ajudam significativamente no futuro crescimento da campanha.

### *8. Risco do candidato para a estabilidade econômica:*

Boa parte dos critérios anteriores são aplicados de forma generalizada para a avaliação de possibilidades de vitória em diferentes cenários eleitorais. Entretanto, algumas situações exigem a consideração de outros aspectos que são mais específicos e que também afetam o processo eleitoral. Para as eleições presidenciais de 2002, um aspecto fortemente explorado pela mídia, e pelo mercado financeiro, é o risco hipotético que cada candidato apresenta para a estabilidade econômica do país. É enfatizado que candidato(s) de situação trarão menores riscos para a estabilidade econômica, enquanto candidatos de oposição maximizam este risco. Não entrando-se no mérito da validade econômica real deste aspecto, certamente este é um dos principais itens a serem explorados durante a campanha e agirá na decisão de uma parte do eleitorado, mesmo que influenciados por uma situação fictícia.

### *9. Empatia com o eleitorado:*

Este é outro critério de estimação bastante subjetiva. Especialistas em eleições avaliam este quesito verificando como o eleitor se identifica com a linguagem do candidato, sua atitude, seu discurso, suas idéias, simpatia, personalidade, ou seja, o quanto ele está em consonância com o eleitor. Uma forte identificação eleitor – candidato é muito mais significativa para a firmação de uma candidatura do que

convicções ideológicas, principalmente para o perfil do eleitor brasileiro. A capacidade de se comunicar diretamente com o eleitor, muitas vezes é parte da própria personalidade do candidato e não é uma característica fácil de se conquistar apenas com o decorrer de uma campanha.

#### *10. Tratamento da Mídia para com o Candidato:*

Neste critério, o especialista avalia o tratamento da mídia (emissoras de televisão, rádio, jornais e internet) em relação a cada um dos candidatos. É comum verificar que certos meios de comunicação alinham-se mais a uma ou outra candidatura conforme interesses institucionais, apesar de sempre defenderem que os espaços são equânimes entre todos. Nestes casos, a crítica ou o apoio é usualmente realizado de uma forma dissimulada, mas que, comprovadamente (esta situação foi verificada em diversas eleições passadas), exerce forte influência sobre a opinião do eleitor. Para exemplificar, um comentário insistente na mídia sobre o quanto o nome de um candidato pode influenciar negativamente a economia do país certamente pode alterar o comportamento de muitos eleitores. A imparcialidade da mídia é algo que não se comprova na prática, e esta situação velada de apoio ou contrariedade é um fator relevante a se considerar.

#### *11. Posicionamento em Relação ao Governo:*

Este último critério procura avaliar duas situações. Primeiro ele mede o posicionamento do candidato em relação ao governo atual, ou seja, se ele pode ser considerado como candidato alinhado com o governo (se é de situação), ou se o candidato é de oposição. Se for considerado de oposição, aplica-se uma escala difusa que avalia o grau desta oposição (de *Pouca Oposição* até *Muita Oposição*). A segunda situação reflete-se nos valores de soluções ideais positiva e negativa. Se a avaliação atual do governo for considerada como positiva pelos eleitores, a solução ideal positiva para este critério corresponde a um candidato de situação e a solução negativa corresponde a um candidato de oposição. Se esta avaliação for negativa, inverte-se o panorama, ou seja, candidatos de oposição correspondem à solução ideal positiva e de situação correspondem à solução ideal negativa. É importante enfatizar que, diferente dos critérios anteriores, este manipula duas situações, uma no próprio valor do critério e



outra que é modelada nos valores ideais. Os valores para as soluções ideais estarão fortemente condicionados a uma análise cuidadosa sobre a aceitação popular do atual governo. Este critério tem grande importância na avaliação de cada candidato, uma vez que os eleitores costumam apoiar fortemente o candidato de situação quando a avaliação do governo é positiva e, quando estão em discordância com a atuação do governo, procuram buscar alternativas em candidatos de oposição.

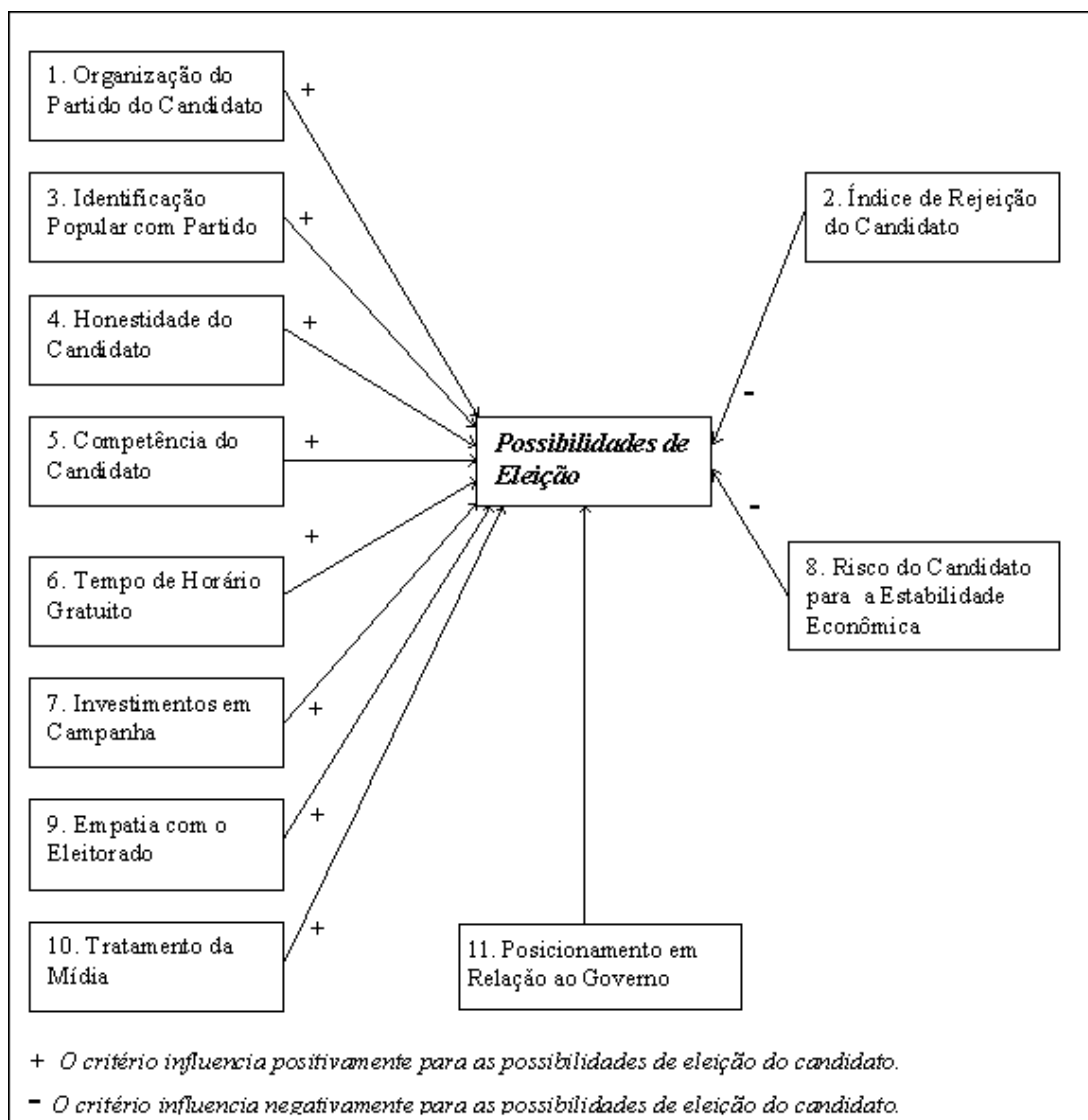


Figura – 4.1 Os onze critérios aplicados para a avaliação das possibilidades eleitorais dos candidatos à eleição presidencial

Alguns outros critérios foram citados pelos cientistas políticos, entretanto, não houve um consenso sobre a influência mínima destes outros atributos sobre o processo

eleitoral para a eleição presidencial de 2002. O quadro anterior (Figura – 4.1) apresenta, de forma esquemática, os onze critérios detalhados acima, com o tipo de influência (positiva ou negativa) que cada um representa para as possibilidades de eleição. O critério *II* pode tanto refletir uma influência positiva como negativa, dependendo da avaliação do governo pelo eleitorado e da posição do candidato em relação a este governo. Para o caso específico da eleição presidencial, a avaliação do governo Fernando Henrique Cardoso é considerada como *Regular* ou *Ruim* pela maioria dos eleitores, segundo as pesquisas disponíveis, portanto, candidatos de oposição serão os maiores beneficiados por este critério.

#### 4.2.2 Escala de Pesos para os Critérios

Alguns trabalhos iniciais na área de Multicritério Difuso, como o de Yager (YAGER, 1978), propuseram o uso de conjuntos difusos para avaliar o desempenho de alternativas em relação a critérios, mas os pesos seriam representados por valores exatos. Apesar desta solução gerar um algoritmo de implementação computacional mais simples, parece não ser muito aplicável a soluções reais que envolvam vagueza e imprecisão. Na situação aqui avaliada, tanto o valor de desempenho para os candidatos em cada critério não é um valor preciso, como o peso para cada critério é mais adequadamente representado por um valor lingüístico do que por um valor quantitativo exato. Como esperada, a apresentação inicial de uma escala de pesos exata para os especialistas em política foi criticada pela dificuldade em se precisar numericamente a importância de critérios tão subjetivos. Com o auxílio destes mesmos especialistas foi montada uma escala de pesos lingüística (com seus respectivos conjuntos difusos e funções de pertinência) que melhor contempla a imprecisão destes pesos. A ponderação com adjetivos como “Pouco Importante” ou “Muito Importante” foi aplicada com naturalidade pelos cientistas políticos.

Uma escala de cinco pesos lingüísticos foi considerada suficientemente representativa para diferenciar a importância de cada um dos onze critérios envolvidos na avaliação das possibilidades de eleição. Dentro do Universo de Discurso [0,100] foram definidos os cinco conjuntos difusos que representam cada um dos possíveis

pesos lingüísticos. O intervalo  $[0,100]$  foi escolhido devido à sua facilidade de interpretação por parte dos especialistas (principalmente no momento de definição das funções de pertinência de cada peso lingüístico). O formato de cada função de pertinência foi proposta com base na experiência dos especialistas e principalmente através de alguns testes práticos que aplicaram algumas formas diferentes para a verificação da qualidade dos resultados. Para os pesos, foram testadas basicamente funções trapezoidais e sino. Tanto uma como outra mostrou-se, em um primeiro momento, aplicável para a representação dos pesos, sem maiores diferenças quanto aos resultados finais obtidos no ordenamento das alternativas. A função trapezoidal foi então escolhida pela sua representação matemática e computacional ser um pouco mais simples. Testes em eleições futuras, ou mesmo em novas simulações deste cenário, certamente poderão refinar o formato destes conjuntos (esta é uma das possíveis aplicações futuras para o *Raciocínio Baseado em Casos*, discutido no capítulo anterior).

A Tabela – 4.1 detalha cada um dos conjuntos difusos relativos aos pesos lingüísticos. Na Figura – 4.2 seguinte, mostra-se o módulo difuso com a escala de cinco pesos lingüísticos (com as funções de pertinência de cada conjunto) que será usada para especificar a importância de cada um dos critérios relacionados com o problema das eleições.

<b>Peso</b>	<b>Formato da Função de Pertinência</b>	<b>Parâmetros da função*</b>
<i>MenorImportância</i>	Tipo L	(10,20)
<i>PoucoImportante</i>	Trapezoidal	(10,20,30,40)
<i>MédioImportante</i>	Trapezoidal	(30,45,55,70)
<i>Importante</i>	Trapezoidal	(60,70,80,90)
<i>MuitoImportante</i>	Tipo Gamma	(80,90)

\* Os parâmetros de cada tipo de função podem ser observados em detalhe no Apêndice – 2.

Tabela – 4.1 A descrição dos conjuntos difusos que compõe a escala de pesos com suas respectivas funções de pertinência

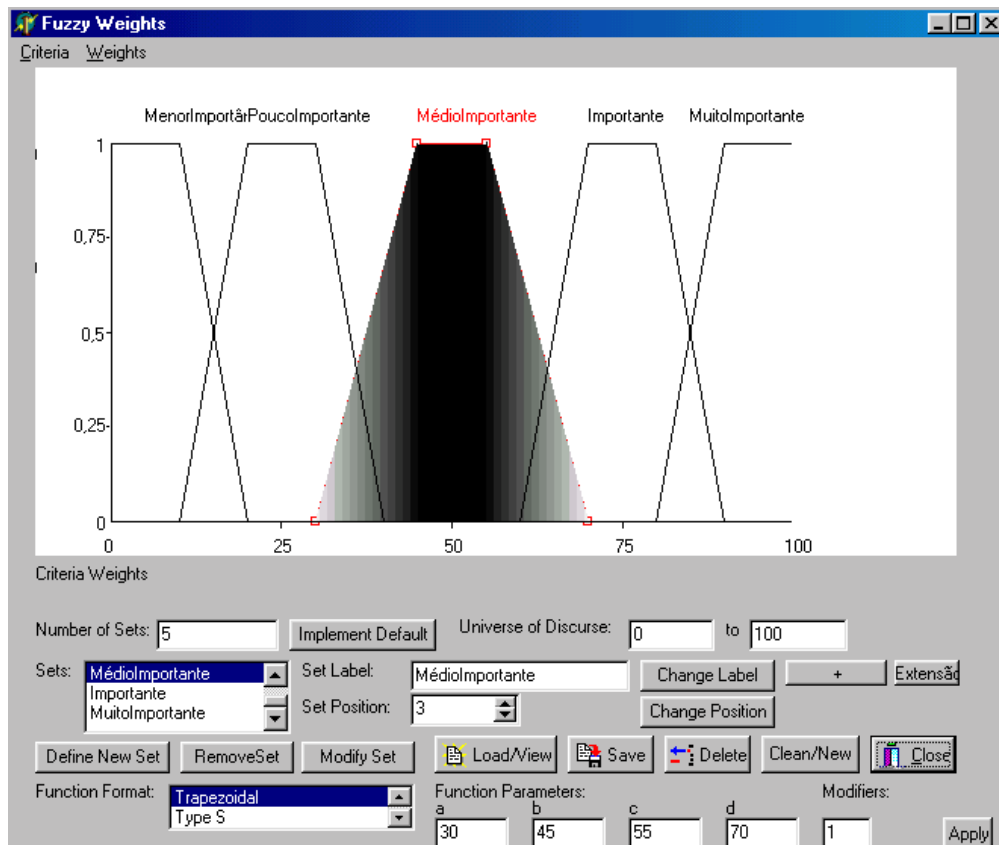


Figura – 4.2 Conjuntos difusos representando a escala de pesos lingüística para o exemplo das eleições

#### 4.2.3 Os Pesos de Importância Estipulados para cada Critério

Com base na escala definida na seção anterior, foi estimada a importância de cada critério na avaliação das possibilidades de eleição dos candidatos. A opinião dos três especialistas foi considerada e um valor de consenso para o peso, em cada um dos onze critérios, foi obtido. A opinião do cientista político reflete a análise da conjuntura social, econômica, política, cultural e principalmente o perfil do eleitor brasileiro. Os pesos expressam a influência de cada atributo para o cenário específico da eleição presidencial de 2002. A Tabela – 4.2 abaixo mostra os pesos lingüísticos estipulados para cada um dos onze critérios de avaliação:

<b>Critérios</b>	<b>Pesos de Importância</b>
1. <i>Organização do partido do candidato</i>	<b>MédioImportante</b>
2. <i>Índice de Rejeição do candidato</i>	<b>Importante</b>
3. <i>Identificação popular com o partido do candidato</i>	<b>PoucoImportante</b>
4. <i>Avaliação da Honestidade do candidato</i>	<b>Importante</b>
5. <i>Competência do candidato</i>	<b>MuitoImportante</b>
6. <i>Tempo de horário gratuito</i>	<b>MuitoImportante</b>
7. <i>Investimentos em campanha</i>	<b>Importante</b>
8. <i>Risco do candidato para a estabilidade econômica</i>	<b>Importante</b>
9. <i>Empatia com o eleitorado</i>	<b>MédioImportante</b>
10. <i>Tratamento da mídia para com o Candidato</i>	<b>Importante</b>
11. <i>Posicionamento em relação ao governo</i>	<b>MuitoImportante</b>

Tabela – 4.2 Os pesos lingüísticos definidos para cada um dos critérios

#### 4.2.4 As Alternativas para o Exemplo das Eleições

As informações básicas para o módulo multicritério compreendem a lista de critérios de avaliação e as alternativas a serem avaliadas e ordenadas. Para este exemplo de eleição, as alternativas são os candidatos que concorrerão ao pleito presidencial de 2002. Como tem ocorrido em eleições passadas, alguns candidatos sem a menor expressão política (não representam um forte partido, coligação ou mesmo uma parcela significativa da sociedade) lançam seus nomes. Estes candidatos inexpressivos não serão considerados nesta avaliação de possibilidades de eleição, já que não influenciam no desempenho final dos demais candidatos que realmente disputarão o pleito. Os quatro nomes representativos (alternativas) que serão avaliados pelo modelo são destacados a seguir:

- **Garotinho:** representa a coligação dos partidos PSB, PAN, PHS, PGT, PTN, PTdoB, PSC, PST, PRP.
- **José Serra:** representa a coligação dos partidos PSDB e PMDB.
- **Lula:** representa a coligação dos partidos PT, PL e PCdoB.

- **Ciro Gomes:** representa a coligação dos partidos PPS, PDT e PTB.

Estes candidatos, e suas respectivas coligações (ou partidos), serão analisados a partir de uma matriz de decisão difusa inicial que será montada na seção seguinte.

#### 4.2.5 A Definição da Matriz de Decisão Difusa

O desempenho de cada um dos quatro candidatos em relação aos onze critérios é estipulado novamente com o auxílio direto dos cientistas políticos. A opinião sobre o desempenho dos candidatos nos quesitos é resultado da análise cuidadosa da opinião média dos eleitores e do perfil do eleitorado – o comportamento do eleitor em eleições presidenciais recentes ajuda a traçar este perfil (os desempenhos em vários critérios não são a tradução da opinião particular do especialista, mas sim de como este percebe o posicionamento do eleitor), da interpretação do tipo de tratamento que cada candidato recebe através da imprensa, da análise sobre o possível potencial que cada coligação partidária sugere e através da verificação do espaço disponibilizado para as coligações no horário gratuito do TSE. A experiência dos especialistas na análise de eleições passadas também mostra-se fundamental para a montagem da matriz de decisão. Esta experiência adquirida facilita a interpretação do novo quadro apresentado para a eleição de 2002. Estes valores lingüísticos de desempenho dos candidatos são resultado do consenso entre três cientistas políticos, assim como realizado para a obtenção dos pesos para cada critério. A Tabela – 4.3 abaixo representa a matriz de decisão difusa com os valores de desempenho iniciais dos quatro candidatos.

<i>Crêterios</i>	<i>Garotinho</i>	<i>José Serra</i>	<i>Lula</i>	<i>Ciro Gomes</i>
<i>1. Organiza�o do partido do candidato</i>	<b>MédiaBaixa</b>	<b>MédiaAlta</b>	<b>Alta</b>	<b>MédiaAlta</b>
<i>2. �ndice de Rejei�o do candidato</i>	<b>Médio</b>	<b>MédioAlto</b>	<b>MédioBaixo</b>	<b>MédioBaixo</b>
<i>3. Identifica�o popular com o partido</i>	<b>MédiaBaixa</b>	<b>Média</b>	<b>Alta</b>	<b>M�diaBaixa</b>
<i>4. Honestidade do candidato</i>	<b>M�dio</b>	<b>Honesto</b>	<b>Honesto</b>	<b>Honesto</b>
<i>5. Compet�ncia do candidato</i>	<b>Competente</b>	<b>Muito Competente</b>	<b>M�dio</b>	<b>Competente</b>
<i>6. Tempo de horário gratuito</i>	<b>M�dio</b>	<b>Suficiente</b>	<b>Suficiente</b>	<b>M�dio</b>
<i>7. Investimentos em campanha</i>	<b>M�dioBaixo</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>M�dio</b>
<i>8. Risco para a estabilidade econ�mica</i>	<b>M�dioAlto</b>	<b>M�dioBaixo</b>	<b>M�dioAlto</b>	<b>M�dio</b>
<i>9. Empatia com o eleitorado</i>	<b>M�diaAlta</b>	<b>M�diaBaixa</b>	<b>Muita</b>	<b>M�diaAlta</b>
<i>10. Tratamento da m�dia</i>	<b>Contrário</b>	<b>Apoio</b>	<b>Contrário</b>	<b>Neutro</b>
<i>11. Posicionamento em rela�o ao governo</i>	<b>Oposi�o</b>	<b>Situa�o</b>	<b>Muita Oposi�o</b>	<b>Oposi�o</b>

Tabela – 4.3 A matriz de decisão difusa para o exemplo das elei es

A matriz de decisão difusa   montada de forma interativa (o conjunto referente ao valor escolhido   mostrado através da interface do módulo multicritério), especificando-se, para cada candidato, seu desempenho em rela o aos vários critérios de avalia o. A Figura – 4.3 mostra a defini o do valor "Alta" relativo ao critério "Organiza o do Partido", para o candidato Lula. Também   exibida a matriz de decisão completa de forma bastante similar   Tabela – 4.3.

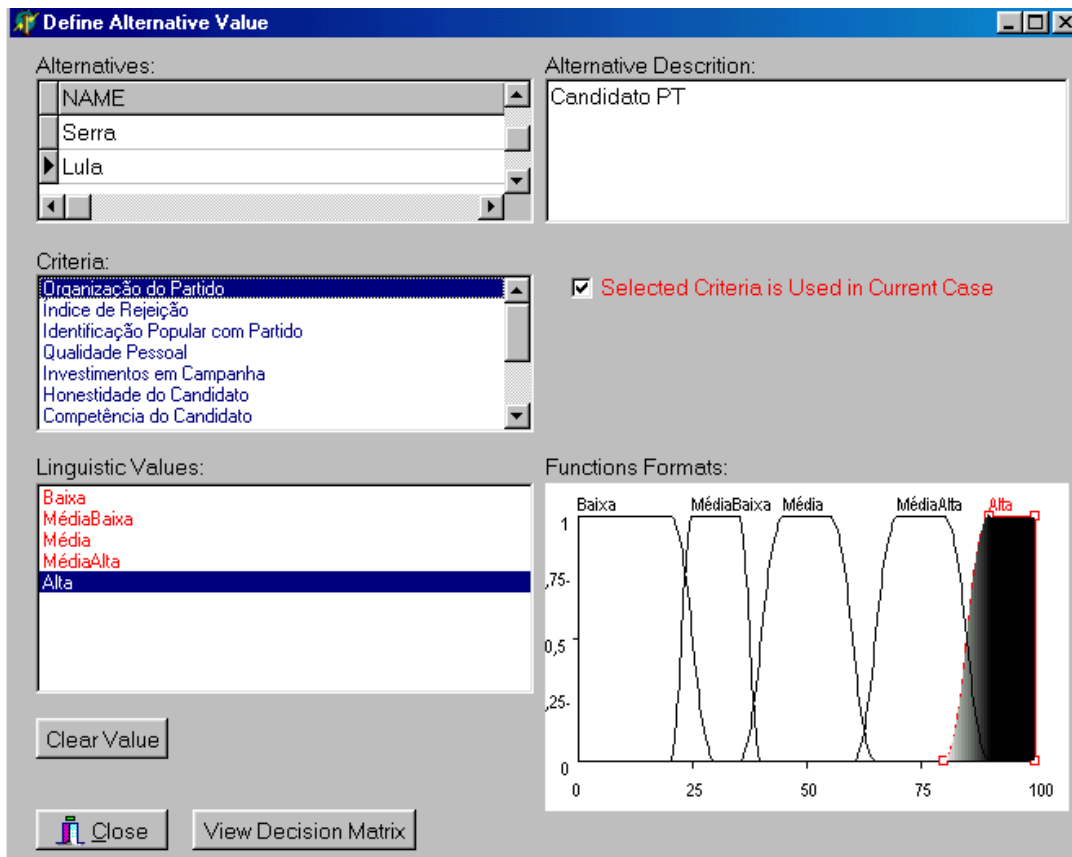


Figura – 4.3 Recurso para a definição dos desempenhos dos candidatos

Até este ponto, o módulo difuso foi utilizado para: a definição da escala de valores difusos para os critérios e para a definição da escala de pesos lingüísticos. Reunindo-se atividades do módulo difuso e multicritério, os seguintes passos já foram realizados até este momento:

- 1 – Definição de critérios de avaliação e alternativas a serem ordenadas;
- 2 – Definição da escala de possíveis valores lingüísticos para cada critério;
- 3 – Definição da escala de pesos lingüísticos;
- 4 – O peso para cada critério já foi estipulado e
- 5 – A matriz de decisão difusa com os desempenhos já foi determinada.



### 4.3 O Cálculo Multicritério

Antes de iniciar o cálculo multicritério propriamente dito, ainda falta obter uma última informação importante para a montagem do cenário. Na solução apresentada no Capítulo – 3, Seção – 3.2.2, o 7º Passo refere-se à etapa que é característica do modelo Topsis. As Soluções Ideais Positiva ( $A^+$ ) e Negativa ( $A^-$ ) devem ser obtidas para a realização dos passos seguintes que manipulam estas soluções como base para o cálculo de ordenamento das alternativas.

No caso deste exemplo, estas soluções ideais representam perfis de candidatos hipotéticos. A Solução Ideal Positiva corresponde ao perfil de um candidato ótimo, cujas características servem como modelo para os candidatos concorrentes (o objetivo é aproximar ao máximo deste candidato hipotético em todos os critérios de avaliação). Por outro lado, a Solução Ideal Negativa é o candidato péssimo, ou seja, aquele que obtém os piores desempenhos em todos os critérios. A Figura – 3.14 (Capítulo – 3) exhibe a interface do módulo multicritério utilizada para a definição das soluções ideais.

Estes perfis ideais positivo e negativo foram novamente elaborados com o auxílio dos especialistas que aplicaram a escala difusa de possíveis valores, para cada critério, para definirem as duas soluções. Além dos valores difusos previamente definidos para cada critério, os especialistas ainda puderam aplicar os dois valores extremos dentro do universo de discurso de cada atributo, ou seja, os valores *Minimum Value* e *Maximum Value*. Como já detalhado na Seção – 3.2.3, estes valores podem ser usados pelo TD para enfatizar que um valor hipotético esperado é o limite mínimo ou máximo dentro do universo de discurso do atributo. Os especialistas preferiram utilizar os valores difusos definidos para indicar as soluções ideais, com exceção de dois critérios: *Índice de Rejeição* e *Investimentos em Campanha*. Para estes usaram os valores extremos devido a possibilidade de se poder quantificar melhor o desempenho dos candidatos nestes dois atributos, o que não ocorre com os critérios restantes, que são de natureza bastante subjetiva. A Tabela – 4.4 mostra os perfis positivo e negativo, aplicando os termos lingüísticos disponíveis para os critérios.

<i>Crêterios</i>	<i>Perfil Positivo (A<sup>+</sup>)</i>	<i>Perfil Negativo (A<sup>-</sup>)</i>
<i>C1. Organiza�o do partido do candidato</i>	<b>Alta</b>	<b>Baixa</b>
<i>C2. �ndice de Rejei�o do candidato</i>	<b>Minimum Value</b>	<b>Maximum Value</b>
<i>C3. Identifica�o popular com o partido</i>	<b>Alta</b>	<b>Baixa</b>
<i>C4. Honestidade do candidato</i>	<b>Honesto</b>	<b>Desonesto</b>
<i>C5. Compet�ncia do candidato</i>	<b>Muito Competente</b>	<b>Incompetente</b>
<i>C6. Tempo de horário gratuito</i>	<b>Suficiente</b>	<b>Insuficiente</b>
<i>C7. Investimentos em campanha</i>	<b>Maximum Value</b>	<b>Minimum Value</b>
<i>C8. Risco para a estabilidade econ�mica</i>	<b>Baixo</b>	<b>Alto</b>
<i>C9. Empatia com o eleitorado</i>	<b>Muita</b>	<b>Pouca</b>
<i>C10. Tratamento da média</i>	<b>Muito Apoio</b>	<b>Muito Contrário</b>
<i>C11. Posicionamento em rela�o ao governo</i>	<b>Oposi�o</b>	<b>Situa�o</b>

Tabela – 4.4 Perfis (Solu es) Ideais Positivo e Negativo

Os valores ideais para o critério *C11* devem ser analisados com cuidado. Na verdade, o candidato dito “ timo” será de *oposi o*, não por preferência pessoal dos especialistas em política que auxiliaram a montar estas solu es, mas sim reflete que candidatos de oposi o ter o maiores possibilidades de elei o devido   avalia o um tanto negativa do atual governo. Se a avalia o do governo fosse positiva, e não negativa como constatado, o valor para a soluço ideal positiva seria *situa o*. Outra constata o   que, apesar de se esperar um tratamento *neutro* da média para com os candidatos (critério *C10*), deve-se admitir que candidatos com o apoio dos meios de comunica o possuem maiores chances de chegarem ao segundo turno, e de vencerem, devido   manipula o da opinião pública exercida por algumas destas institui es.

O processo de cálculo propriamente dito do método multicritério inicia-se com o 8<sup>o</sup> Passo (ver Se o – 3.2.2), entretanto, no 4<sup>o</sup> Passo realiza-se um processo de prepara o que   a normaliza o dos valores dos parâmetros de todas as fun es de pertinência, de todos os valores difusos a serem manipulados nos cálculos seguintes

(incluindo valores de soluções ideais, pesos e valores de desempenho de alternativas), para o intervalo unitário [0,1]. Com isto, a unidade de medida de todos os critérios do problema é unificada.

Como exemplo, o valor lingüístico *Insuficiente*, para a Solução Ideal Negativa do critério *Tempo de horário gratuito*, tem os parâmetros de sua função de pertinência Tipo Z normalizada da seguinte forma (sendo o universo de discurso original para este critério definido pelo intervalo [0,20]):

$$Insuficiente = (1,3)$$

$$ParamA = 1$$

$$ParamB = 3$$

$$U_{\min} = 0 \quad e \quad U_{\max} = 20$$

$$x_{norm} = x - U_{\min} / (U_{\max} - U_{\min}) \quad (4.1)$$

$$ParamA_{norm} = (1 - 0) / (20 - 0) = 0.05$$

$$ParamB_{norm} = (3 - 0) / (20 - 0) = 0.15$$

Logo,

$$Insuficiente_{norm} = (0.05, 0.15)$$

Processo similar é realizado para normalizar os valores dos parâmetros das funções de pertinência dos demais conjuntos difusos envolvidos no cálculo multicritério.

O 8º Passo da seqüência de solução multicritério, apresentado na Seção – 3.2.2, mostra o processo de transformação dos valores difusos em números difusos L-R. Este processo é necessário para que se possa realizar operações aritméticas com valores difusos com funções de pertinência distintas.

O 9º Passo desta seqüência de solução corresponde à obtenção da matriz de decisão difusa ponderada  $\tilde{V}_{4 \times 11}$ , ou seja, o produto entre os desempenhos de cada candidato, em cada critério, e os respectivos pesos dos critérios. Este produto é realizado através da equação (detalhes no 9º Passo, Seção – 3.2.2):

$$\tilde{V}_{ij} = \tilde{x}_{ij} \otimes \tilde{W}_j \quad (4.2)$$

Este cálculo é efetuado através do produto entre números difusos L-R, já que tanto  $\tilde{x}_{ij}$  como  $\tilde{w}_j$  já foram previamente convertidos em números difusos L-R no 8º Passo. A fórmula 3.9 (Capítulo – 3) mostra o processo de cálculo para este produto. O resultado de cada elemento  $\tilde{v}_{ij}$  desta matriz é também um número L-R. Para exemplificar a realização deste produto teríamos:

$$\tilde{v}_{11} = \tilde{x}_{11} \otimes \tilde{w}_1 \quad (4.3)$$

Onde (os valores de  $\tilde{x}_{11}$ , valor de desempenho do candidato *Garotinho*, em relação ao critério *Organização do partido do candidato*, e  $\tilde{w}_1$ , peso do critério *Organização do partido do candidato*, já estão normalizados e traduzidos em números difusos L-R. Seus respectivos termos lingüísticos podem ser observados nas Tabelas – 4.3 e 4.2 ) :

$$\tilde{x}_{11} = \text{MédiaBaixa} = (0.25, 0.35, 0.05, 0.05)_{LR} \quad (4.4)$$

$$\tilde{w}_1 = \text{MédioImportante} = (0.45, 0.55, 0.15, 0.15)_{LR} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \tilde{v}_{11} &= (0.25 * 0.45, 0.35 * 0.55, 0.25 * 0.15 + 0.45 * 0.05, 0.35 * 0.15 + 0.55 * 0.05) \\ &= (0.11, 0.19, 0.06, 0.08) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Os outros produtos, entre desempenhos de candidatos nos critérios e pesos dos referidos critérios, são efetuados da mesma forma, através do produto entre números L-R. A Matriz de Decisão Difusa Ponderada para os candidatos, já com seus elementos obtidos pelo produto da fórmula 4.3, pode ser observada na Tabela – 4.5 abaixo:

	<i>Critérios</i>			
<i>Candidatos</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>
<i>Garotinho</i>	(0.11,0.19,0.06,0.08)	(0.31,0.44,0.11,0.13)	(0.05,0.10,0.03,0.05)	(0.13,0.19,0.09,0.08)
<i>José Serra</i>	(0.31,0.44,0.15,0.17)	(0.49,0.64,0.17,0.20)	(0.09,0.16,0.06,0.08)	(0.40,0.55,0.18,0.15)
<i>Lula</i>	(0.40,0.55,0.18,0.15)	(0.17,0.28,0.06,0.07)	(0.18,0.30,0.12,0.10)	(0.40,0.55,0.18,0.15)
<i>Ciro</i>	(0.31,0.44,0.15,0.17)	(0.17,0.28,0.06,0.07)	(0.05,0.10,0.03,0.05)	(0.20,0.30,0.11,0.13)
	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>	<i>C8</i>
<i>Garotinho</i>	(0.35,0.48,0.19,0.22)	(0.49,0.64,0.14,0.16)	(0.13,0.20,0.06,0.05)	(0.27,0.38,0.13,0.16)
<i>José Serra</i>	(0.63,0.80,0.30,0.10)	(0.63,0.80,0.16,0.10)	(0.22,1,0.07,0)	(0.09,0.16,0.07,0.10)
<i>Lula</i>	(0.63,0.80,0.30,0.10)	(0.35,0.48,0.19,0.14)	(0.22,1,0.07,0)	(0.27,0.38,0.13,0.16)
<i>Ciro</i>	(0.63,0.80,0.03,0.10)	(0.49,0.64,0.14,0.16)	(0.13,0.20,0.06,0.05)	(0.18,0.27,0.10,0.13)
	<i>C9</i>	<i>C10</i>	<i>C11</i>	
<i>Garotinho</i>	(0.45,0.60,0.13,0.15)	(0.17,0.28,0.09,0.11)	(0.63,0.80,0.16,0.10)	
<i>José Serra</i>	(0.17,0.28,0.09,0.11)	(0.45,0.60,0.17,0.19)	(0,0.20,0,0.10)	
<i>Lula</i>	(0.60,0.80,0.15,0.10)	(0.17,0.28,0.09,0.11)	(0.81,1,0.18,0)	
<i>Ciro</i>	(0.45,0.60,0.13,0.15)	(0.31,0.44,0.08,0.09)	(0.63,0.80,0.16,0.10)	

Tabela – 4.5 Matriz de decisão difusa ponderada  $\tilde{V}_{4 \times 11}$  para os candidatos

Com esta matriz já obtida, passa-se então ao último passo (*10º Passo*) para o cálculo do desempenho agregado de cada um dos candidatos. A primeira atividade neste sentido é a obtenção das distâncias de cada candidato em relação aos perfis de candidatos ideais positivo e negativo, conforme as fórmulas 3.13 e 3.15, respectivamente.

O valor de  $\tilde{v}_{ij}$  já está calculado na matriz de decisão difusa ponderada e os produtos entre o valor ideal positivo de cada critério e o peso do respectivo critério ( $\tilde{a}_j^+ * \tilde{w}_j$ ) e entre o valor ideal negativo de cada critério e o peso do respectivo critério ( $\tilde{a}_j^- * \tilde{w}_j$ ) são calculados em um passo intermediário anterior, através do mesmo princípio de produtos entre intervalos difusos L-R efetuado para a obtenção da matriz de decisão difusa ponderada.

O somatório final para cada distância  $d_i^+$  e  $d_i^-$ , para cada candidato  $i$ , é um valor exato uma vez que os parâmetros dos números difusos L-R resultantes das diferenças entre desempenhos e valores ideais são diretamente somados. A obtenção

destes valores exatos para as distâncias segue o Método do Vértex apresentado no trabalho original do método Topsis (CHEN, 2000).

A Tabela – 4.6 abaixo mostra os resultados das distâncias para os quatro candidatos à presidência, obtidos através da aplicação das fórmulas 3.13 e 3.15:

<i>Candidatos</i>	$d_i^+$	$d_i^-$
<i>Garotinho</i>	3.42	3.38
<i>José Serra</i>	2.36	4.41
<i>Lula</i>	1.61	5.49
<i>Ciro</i>	2.29	4.50

Tabela – 4.6 Distâncias de desempenho dos candidatos em relação aos perfis ideais

O último passo, antes do ordenamento, é a obtenção do valor de desempenho agregado final ( $P_i$ ) para cada um dos candidatos, aplicando-se os valores de distâncias calculados anteriormente. O valor de desempenho agregado é calculado por:

$$P_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (4.7)$$

Como as distâncias já são valores exatos, o cálculo final de desempenho é bastante trivial e a classificação dos candidatos segue a ordem decrescente destes valores obtidos. A Tabela – 4.7 abaixo mostra os resultados dos desempenhos para os quatro candidatos juntamente com o ordenamento final.

<i>Candidatos</i>	$P_i$	Classificação
<i>Garotinho</i>	0.50	4°
<i>José Serra</i>	0.65	3°
<i>Lula</i>	<b>0.77</b>	<b>1°</b>
<i>Ciro</i>	0.66	2°

Tabela – 4.7 Os índices de desempenhos agregados finais para os quatro candidatos juntamente com as classificações

O valor final de desempenho resume as possibilidades de eleição dos candidatos. Segundo este valor, o candidato *Lula* tem as maiores possibilidades de passar ao segundo turno da eleição presidencial e de vencer a eleição, enquanto a segunda vaga está bastante concorrida entre *José Serra* e *Ciro*. Apesar da leve vantagem apresentada por *Ciro*, a diferença pode ser considerada desprezível, portanto, qualquer um dos dois candidatos pode chegar ao segundo turno com *Lula*.

A Figura – 4.8 abaixo mostra a interface principal do módulo multicritério do modelo, com o ordenamento final dos candidatos já realizado. A figura exhibe também uma das opções gráficas para a apresentação dos índices de desempenho dos candidatos. Além do valor do índice de desempenho são apresentadas as distâncias calculadas.

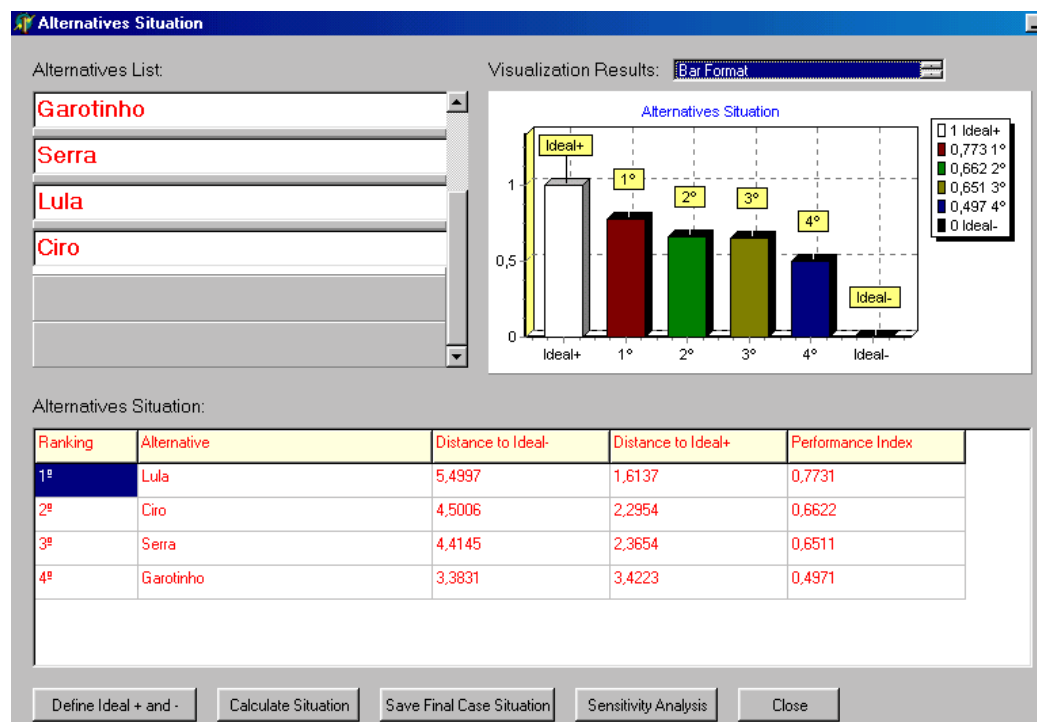


Figura – 4.8 Ordenamento final dos candidatos através da interface principal do módulo multicritério

#### 4.4 Conclusões sobre o Exemplo Proposto

O exemplo apresentado é resultado de um intenso trabalho de pesquisa junto a pesquisadores da área de ciência política. Os critérios, e os respectivos pesos, foram estudados e obtidos com o auxílio direto destes pesquisadores. Alguns destes critérios (boa parte deles) já tinham sido aplicados em outros casos de análise de eleições e foram novamente utilizados para o novo caso. Por exemplo, no trabalho proposto em (ROYES & BASTOS, 2002), um problema similar foi sugerido e detalhado através desta solução. O caso específico, apresentado neste trabalho, mostrava o processo de análise das eleições para a prefeitura da cidade de Florianópolis, estado de Santa Catarina, para o ano de 2000. O resultado apresentado nesta previsão eleitoral foi bastante satisfatório, obtendo-se como ordenamento final a mesma seqüência dos candidatos alcançada no resultado real da eleição (inclusive a distância entre os desempenhos dos candidatos foi similar). A base de casos da plataforma ainda possui alguns outros casos de eleições passadas armazenados.

Quanto ao novo caso proposto nesta tese, ainda não há resultado real disponível da eleição que será apenas realizada no mês de outubro. O objetivo, neste momento, é realmente o de propor uma avaliação de um fato futuro para analisar a qualidade de previsão do modelo. Os resultados indicam a passagem para o segundo turno do candidato *Lula* com boa folga e um virtual empate entre os candidatos *Ciro* e *José Serra*. A natureza incerta do tipo de informação que gerou esta análise faz com que uma afirmação precisa sobre qual candidato será o adversário de *Lula* no segundo turno não seja totalmente segura (com uma vantagem um pouco maior, poder-se-ia obter uma conclusão mais confiável).

O cenário descrito através dos desempenhos dos candidatos em relação aos critérios (matriz de decisão), através dos pesos dos critérios e perfis ideais, foi obtido no início da campanha eleitoral. Este cenário indicou como resultado o ordenamento apresentado na seção anterior. Logicamente que o processo eleitoral não é estanque e tende a se alterar durante o andamento da campanha. Foi um dos objetivos deste caso descrito a escolha de critérios que pudessem indicar as possibilidades dos candidatos antes mesmo do início da campanha e que fossem critérios não tão susceptíveis a pequenas oscilações no processo (alguns critérios, mais estruturais, estão relacionados com a organização partidária, tempo disponível no horário eleitoral e investimentos). Entretanto, o modelo não está livre de ocorrências que podem alterar completamente o



panorama do processo eleitoral. A descoberta de algum caso importante de corrupção ou de má conduta pessoal de algum candidato, ou até mesmo a desistência de um dos candidatos, possivelmente mudaria o cenário e uma reavaliação do panorama eleitoral certamente deveria ser novamente efetuada. Isto ocorre porque a opinião do eleitor, que é a base para alguns dos critérios sugeridos, é volúvel e pode se alterar com o acontecimento destas ocorrências importantes. Algum critério importante, apesar do trabalho intenso junto aos especialistas, pode também não ter sido incluído neste modelo no momento inicial de avaliação, novamente devido à alta complexidade de análise e ao grande número de fatores que influenciam neste tipo de problema.

O objetivo central deste exemplo não é puramente a previsão do resultado da eleição em um dado momento da campanha (como ocorre com as pesquisas eleitorais), mas sim fornecer informações úteis sobre o cenário eleitoral e o posicionamento de cada candidato neste cenário. Certamente que, mesmo não acertando exatamente a ordem dos candidatos (até mesmo por alguma possível importante alteração de cenário, que é própria deste tipo de processo), o modelo já terá servido como um bom indicativo para a análise dos candidatos e de seus respectivos partidos e assessores. Para se ter uma idéia, apenas as facilidades de simulação disponibilizadas, para alterações de critérios, pesos e valores de desempenho, já mostram a utilidade para a análise deste processo, dentro de um ambiente tão complexo.

#### **4.5 Análise de Sensibilidade e Recuperação de Casos Passados**

O processo de análise do caso da eleição presidencial não se encerra com o ordenamento inicial das alternativas obtido com o cálculo multicritério. Um processo de análise de sensibilidade (TRIANANTAPHYLLOU, 2000) está disponível na plataforma para a verificação da possibilidade de mudança da alternativa ótima, com a alteração de desempenho das alternativas em um critério isolado. Esta forma de análise automática permite ao TD verificar o quão sensível é a posição da alternativa vencedora em relação a pequenas alterações nos desempenhos das outras alternativas. O usuário escolhe a alternativa a ser analisada (qualquer outra, com exceção da alternativa vencedora) e o modelo indica se existe possibilidade desta alternativa se tornar a alternativa ótima,

alterando-se seu desempenho em cada um dos critérios, de forma isolada. É mostrado então a mínima mudança no valor de desempenho no critério que já possibilitaria a alteração na ordem das alternativas.

Para o exemplo proposto, esta análise poderia servir como recurso adicional de avaliação do cenário. Para os candidatos *Ciro* e *José Serra*, por exemplo, pode-se realizar uma análise inicial, usando este recurso, para verificar se existe um critério isolado que poderia levar o candidato a ser o primeiro colocado. Durante a campanha, assessores do candidato poderiam investir na melhoria deste critério apontado para aumentar as possibilidades de vitória. Este seria um primeiro tipo de simulação assistida pelo modelo que poderia ser rapidamente realizada pelo Tomador de Decisão. A Figura – 4.5 abaixo (esta interface é parte do módulo multicritério) mostra esta análise sendo realizada para o candidato *Ciro*. A avaliação mostra como resultado que não existe alteração no desempenho de um critério isolado que leve o candidato à primeira colocação, logo, uma análise mais detalhada deverá ser executada.

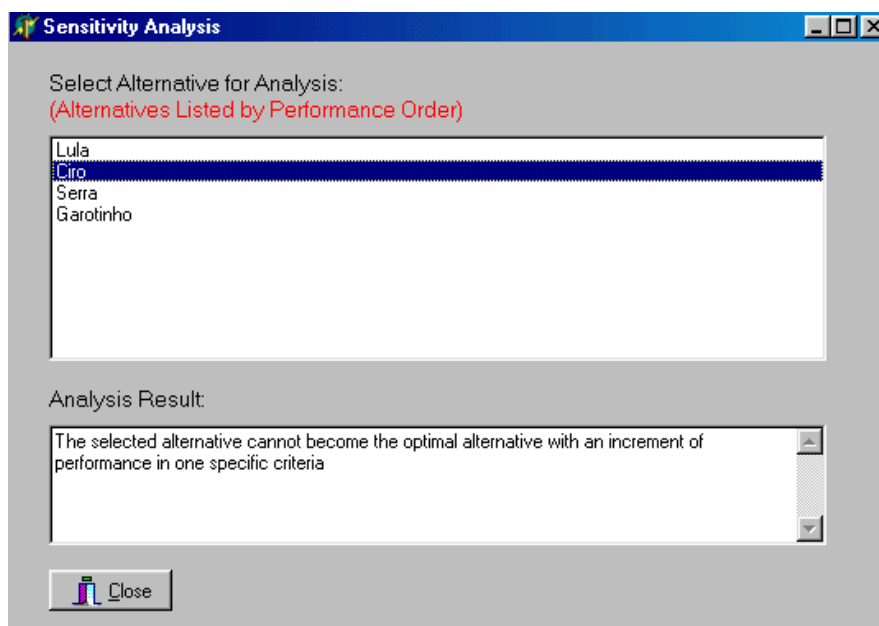


Figura – 4.5 Análise de Sensibilidade realizada através do candidato *Ciro*

Situações de cenários diferentes podem ser facilmente montadas pelo TD, bastando para isto que ele diretamente altere a matriz de decisão, os pesos dos critérios ou mesmo as soluções ideais. Este processo de alteração manual do cenário pode ser

interessante para o TD, uma vez que, apesar de algumas destas modificações só poderem ser realizadas de forma fictícia via modelo, outras mudanças poderão fornecer indicativos práticos interessantes (tudo dependerá de uma análise real mais cuidadosa). Por exemplo, para o candidato *Ciro*, um investimento financeiro maior em sua campanha e a obtenção de um maior apoio da mídia podem causar uma melhoria substancial em suas possibilidades.

Além destas formas de exploração dos resultados, o recurso de Raciocínio Baseado em Casos pode ser utilizado para fornecer indícios de alterações viáveis dentro do cenário proposto. O módulo RBC é acionado com o objetivo de se buscar eleições com cenários similares ao do atual pleito presidencial. É verdade que cenários de eleições sempre apresentam suas distinções, até mesmo devido ao perfil dos candidatos concorrentes e situação econômica e social no momento de realização do pleito, entretanto, mesmo não se obtendo altos níveis de similaridade entre cenários eleitorais, casos passados podem ensinar lições interessantes para um novo contexto.

A situação de busca proposta tenta recuperar casos de eleições na base de casos que possuam pesos de critérios similares aos do pleito presidencial de 2002. Logicamente que, com uma maior variedade de eleições armazenadas, a possibilidade de se obter um caso mais próximo é ampliado. Para o índice de busca escolhido (*pesos similares*), a eleição presidencial de 1994 foi recuperada da base. Apesar de apresentar um cenário geral um pouco distinto da eleição atual, o pleito de 1994 foi analisado através dos mesmos critérios básicos, e os pesos para estes critérios são próximos dos aplicados para a eleição 2002. A Figura – 4.6 exibe a interface principal do módulo RBC com a opção de busca de similaridade *via pesos de critérios* e a identificação do caso recuperado: *Eleição Presidencial de 1994*.

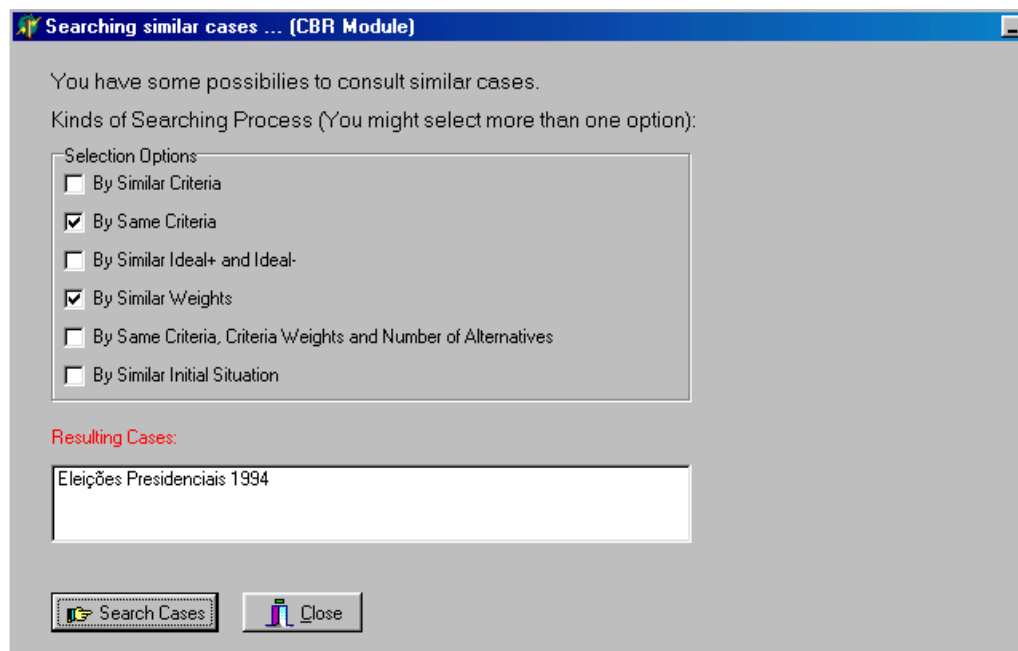


Figura – 4.6 Recuperação de eleição passada via módulo RBC

O caso recuperado traz diversas informações relevantes que devem ser avaliadas com cuidado. Dentre estas informações, a descrição da situação inicial do caso e a situação final trazem indícios sobre o andamento do processo de análise efetuado com o auxílio da abordagem. A análise inicial foi realizada com os dados disponíveis no momento de pré-campanha desta eleição e a situação final já foi obtida com os dados disponíveis durante a campanha. O grande fato desta campanha, que mudou drasticamente o rumo do processo, foi a implantação do Plano Real. As mudanças mais relevantes causadas por este fato no cenário eleitoral estão descritas na seção *Ocorrências Importantes*. Basicamente, houve um grande fortalecimento da campanha de *FHC*, que era o candidato de situação. O candidato reverteu a tendência inicial e ganhou a eleição já no primeiro turno com os dividendos políticos advindos da implantação do plano. O resultado final da previsão do modelo enfatiza que, apesar de mostrar uma pequena vantagem para Lula na situação inicial avaliada na etapa de pré-campanha, o modelo já conseguia indicar o crescimento de *FHC* com os dados disponíveis para os critérios. A Figura – 4.7 mostra as informações recuperadas para o caso: *Eleição Presidencial de 1994*.

Algumas lições relevantes para a novo pleito podem ser obtidas com as ocorrências importantes e algumas outras informações contidas neste caso. O candidato *FHC* valeu-se do sucesso na implantação do Plano Real para fortalecer sua candidatura situacionista. Uma destas ocorrências está em destaque na Figura – 4.7, que mostra a evolução no critério *Empatia com o Eleitorado* do valor inicial *Média* para *Muita*, relativa ao candidato *FHC*.

The screenshot displays the 'Similar Case Details' window with the following information:

- Case Name:** Eleições Presidenciais 1994
- Main Objective:** (empty)
- Case Date:** 19/12/2001
- Case Description:** Eleições para presidente realizada em 1994
- Initial Case Situation:**
  - ALTERNATIVES:** Enéas, **FHC**, Lula, Brizola, Quéricia
  - CRITERIA VALUE FOR SELECTED ALTERNATIVE:**

CRITERION NAME:	WEIGHT:	VALUE:
Organização do Partido	MédiolImportante	Média
Índice de Rejeição	Importante	Médio
- Important Occurrences:**
  - Alternative:** FHC
  - Old Criterion Weight Value:** (empty)
  - New Criterion Weight Value:** (empty)
  - Criterion:** Empatia com o Eleitorado
  - Old Criterion Value:** Média
  - New Criterion Value:** Muita
  - Occurrence Description:** A empatia dos eleitores com o discurso de FHC aumentou muito com a aceitação do Plano Real pela população.
  - Navigation:** Next Occurrence, Previous Occurrence
- Final Case Situation:**
  - ALTERNATIVES:** Enéas, **FHC**, Lula, Brizola, Quéricia
  - CRITERIA VALUE FOR SELECTED ALTERNATIVE:**

CRITERION NAME:	WEIGHT:	VALUE:
Índice de Rejeição	Importante	Baixo
Identificação Popular com Par. Poucolnportante		Média
  - FINAL CASE RESULT:** Situação inicial previa Lula como vencedor do primeiro turno, mas avaliação do sistema já previa crescimento de FHC.

Figura – 4.7 Informações sobre o caso recuperado (*Eleição Presidencial de 1994*)

Além desta, outras ocorrências importantes mostram o processo de evolução do desempenho do candidato, como por exemplo, a diminuição no *Índice de Rejeição*, também resultado da forte campanha sobre o sucesso na implementação do Plano Real junto aos eleitores. De forma similar, o candidato *José Serra* (também situação) poderia enfatizar, em sua campanha, pontos positivos de sua atuação como ministro com o objetivo de também tentar melhorar alguns de seus pontos mais fracos, como o nível de *Empatia com o Eleitorado* e o seu forte *Índice de Rejeição* junto aos eleitores. Já o candidato *Ciro*, poderia usar estas informações para se precaver e contra-atacar, em sua

campanha, enfatizando pontos negativos da atuação de *Serra* quando ministro ou também mostrando aspectos relevantes de sua própria atuação quando foi ministro da economia. Resumindo, este caso recuperado mostra como lição para os candidatos ao novo pleito que atuações importantes quando governo, adequadamente enfatizadas e valorizadas durante a campanha, podem ser bem aceitas pelo eleitorado e, até mesmo, podem reverter uma situação adversa. É verdade também que, apesar da lição ser útil, suas indicações devem ser adaptadas para o novo cenário. Algumas simulações podem então ser aplicadas para os candidatos *Ciro* e *José Serra*, levando em consideração as lições sugeridas pelo caso. Este exemplo mostra o poder do RBC dentro da modelagem proposta. Não busca-se com este recurso a solução final do processo de análise, mas sim procura-se aumentar o entendimento sobre a situação e explorar outros caminhos e perspectivas de análise.

#### **4.6 Outras Aplicações**

O exemplo sugerido sobre eleições serviu plenamente ao propósito de mostrar a aplicabilidade da modelagem para a tomada de decisão em problemas envolvendo a análise de políticas. A alta complexidade do problema proposto, imposta pela diversidade de critérios de análise e pela natureza incerta de suas avaliações, foi um grande desafio dentro do processo de descrição do cenário, devido à própria forma tradicional de análise que é realizada pelos especialistas humanos. Inicialmente, para estes especialistas em ciência política, o uso de um modelo de computação para análise nesta área parecia simples ficção, entretanto, com o desenrolar das tarefas de aquisição de conhecimento sobre o cenário e a devida explicação do objetivo da abordagem e sua proposta diferenciada de tratamento da incerteza natural presente nesta área, diminuiu em muito a rejeição e ocorreu um maior entendimento sobre o potencial de auxílio que poderia ser oferecido.

Outras áreas de aplicação estão sendo sugeridas e exploradas para o uso prático desta plataforma. Uma nova aplicação foi proposta e está em fase de implantação. A área de Recursos Humanos possui uma série de atividades relativas à tomada de decisão. Entre estas tarefas, o processo de seleção de executivos para empresas mostra-

se uma atividade complexa e que envolve diversas ferramentas de auxílio para a decisão sobre o melhor candidato. Este processo de escolha é baseado em diversos critérios subjetivos (vários destes critérios contêm informações incertas coletadas através de entrevistas pessoais e testes de conhecimento e de habilidades) que devem ser avaliados em relação a cada um dos pretendentes ao cargo. Um protótipo desta aplicação já foi implementado através da abordagem desta tese com o auxílio de um especialista na área de RH. Sete critérios de avaliação foram definidos, revelando as qualidades a serem avaliadas para a análise do perfil dos candidatos ao emprego. Segundo o especialista do domínio, a aplicação pode ser bastante útil, funcionando como um recurso extra em relação às ferramentas de decisão já existentes. Uma das grandes vantagens apontadas é que este recurso poderá agilizar em muito o processo de avaliação de candidatos, principalmente quando o número de pretendentes for grande (a abordagem provê uma forma ágil de comparar os diversos candidatos, de uma só vez). A proposta é utilizar esta nova ferramenta de RH em diversos casos reais para refinar o modelo inicialmente apresentado.

Os dois exemplos de aplicações sugeridos anteriormente foram implementados, na prática, através desta abordagem. Duas outras sugestões de utilização chegaram a ser apresentadas, mas não foram suficientemente detalhadas para uma efetiva implementação real. A primeira propunha a análise de possíveis políticas de informática a serem adotadas por municípios catarinenses, já a segunda sugeria o uso da abordagem para o processo de classificação de margarinas para uma grande empresa do ramo de alimentos. Apesar de não ser o objetivo primário desta abordagem o processo de classificação, a proposta inicial deste problema pareceu ser viável para modelagem através dos recursos do modelo, uma vez que esta classificação é realizada através de critérios bastante subjetivos.

A diversidade de propostas de problemas aponta um caminho promissor na aplicabilidade prática da solução apresentada nesta tese, bastando que se descreva adequadamente o cenário a ser avaliado através de critérios relevantes de análise (principalmente se estes manipularem informações vagas) e seus respectivos pesos de importância. A abordagem RBC complementa o auxílio, mantendo memórias de casos passados importantes, com lições relevantes, relativas ao tipo de política a ser tratada.

## **5 Conclusões e Recomendações**

Este capítulo final apresenta algumas conclusões mais abrangentes sobre o trabalho desenvolvido nesta tese e propõe algumas recomendações para o aperfeiçoamento e ampliação desta idéia.

### **5.1 Conclusões**

A inspiração inicial deste trabalho foi o desenvolvimento de outras propostas anteriores (ROYES et al., 2001; ROYES & BASTOS, 2001a; ROYES & BASTOS 2001b; ROYES & BASTOS 2001c; ROYES & BASTOS, 2002) que vislumbraram a necessidade de combinar técnicas de Inteligência Computacional para um apoio mais efetivo à tomada de decisão em problemas que envolvam análise política. Estas propostas apresentavam soluções difusas, uma baseada em regras (ROYES et al., 2001; ROYES & BASTOS 2001a) e outra baseada em Multicritério Difuso (ROYES & BASTOS, 2001b; ROYES & BASTOS, 2001c), para um problema específico sobre chances de eleição de candidatos em eleições majoritárias. A possibilidade de partir destas soluções específicas para uma proposição genérica motivou uma análise mais profunda da sugestão Multicritério Difusa com a perspectiva de ampliar as oportunidades de utilização da proposta inicial.

Esta abordagem híbrida inteligente sugere uma forma diferenciada de tratamento do conhecimento, aliando a informação vaga existente sobre o problema (em problemas reais usualmente este tipo de informação é o que está disponível, e deve-se considerar esta incerteza em sua totalidade para melhor representar este mundo real) com uma ferramenta multicritério que trata e agrega esta série de informações adequadamente, apontando o melhor caminho dentre os disponíveis.

Tem-se o segundo tratamento inteligente do conhecimento com o módulo RBC (ROYES & BASTOS, 2002). Este manipula casos passados diretamente através da informação incerta usada como solução. Casos antigos similares ajudam o Tomador de



Decisão a incrementar seu conhecimento para mais firmemente analisar a nova situação e verificar possibilidades de ação em resposta aos resultados que a abordagem começa a indicar.

Neste sentido, o objetivo principal desta metodologia é o de dotar o Tomador de Decisão de um recurso mais robusto para testar e simular suas políticas. Sejam estas políticas, políticas eleitorais como a do exemplo base, ou políticas públicas ou governamentais, comerciais ou privadas. Não há uma limitação definida para o uso desta metodologia de apoio, desde que se consigam definir critérios de avaliação, alternativas candidatas e pesos para estes critérios. Esta característica de generalidade tem se confirmado pelas situações de aplicação tratadas pela metodologia ou por cenários que não chegaram a ser implementados, mas que foram sugeridos como tratáveis pelo modelo. Além do problema de política eleitoral, um cenário de escolha de executivos para grandes empresas foi também definido e testado neste modelo (este trabalho tornou-se um artigo científico que está em fase de análise em um periódico internacional). Pelo menos outras duas situações foram sugeridas: a definição de políticas de informática para governos municipais e a classificação de tipos de margarinas para uma grande empresa do ramo alimentício. Esta última aplicação não chegou a ser implementada, mas apenas seu estudo inicial mostra que o espectro de possibilidades de uso para a metodologia não se resume a áreas específicas. Problemas que lidam com **classificação** merecem uma avaliação mais profunda, mas análises preliminares parecem suscitar a possibilidade de exploração também através desta abordagem.

A observação sobre a precariedade de metodologias mais completas e realísticas que auxiliem o Tomador de Decisão em sua tarefa de avaliação de políticas certamente foi o estímulo maior para o desenvolvimento deste trabalho. Entretanto, os resultados de toda a pesquisa teórica e a posterior implantação prática do protótipo mostraram que não apenas o objetivo primário foi atingido, mas que também uma forma diferenciada de tratamento do conhecimento através das três abordagens aplicadas foi obtido: Tratamento e direta manipulação do conhecimento vago (Difuso) + Indicação das soluções mais viáveis baseando-se neste conhecimento incerto (Multicritério) + Utilização do conhecimento adquirido para simular diferentes cenários e aprendizado com novos casos (RBC). Esta é a contribuição principal deste trabalho: a colaboração

entre três abordagens no sentido de maximizar o aparato de apoio à decisão no processo de análise de políticas.

A metodologia definida nesta tese foi testada inicialmente no cenário das eleições para a prefeitura de Florianópolis (pleito realizado em Outubro/2000), após já realizada esta eleição. Nesta aplicação, a metodologia apresentou resultados bastante satisfatórios em relação aos resultados reais, ordenando os candidatos (alternativas) exatamente na seqüência obtida na eleição real, inclusive mantendo, na maior parte dos casos, a diferença de desempenho entre os candidatos (uma importante referência a estes resultados pode ser verificada em (ROYES & BASTOS, 2002)). Este é um dos fortes indicativos das possibilidades promissoras de aplicação desta metodologia como apoio qualificado à atividade de avaliação de políticas.

O potencial da metodologia está sendo comprovado através de sua utilização em diferentes áreas. Através do desenvolvimento destas aplicações tem-se observado que a interatividade do TD com o modelo é essencial para o refinamento do cenário descrito. Resultados iniciais usualmente não são muito satisfatórios, o que exige do TD uma análise mais cuidadosa da situação a fim de identificar outros critérios ou mesmo reavaliar a importância dos critérios já definidos. É justamente nesta tarefa de refinamento que o modelo se mostra útil, facilitando o processo e oferecendo mecanismos diversos de exploração. Mudar o peso difuso de apenas um critério e ver o resultado disto para todo o cenário é uma tarefa muito simples para a metodologia, mas certamente exigiria um grande esforço do especialista humano, caso este aplicasse apenas algum apoio manual. Observou-se também que há uma maior naturalidade, por parte do especialista, na definição de valores de desempenhos de alternativas e de pesos, através do uso de termos lingüísticos.

As possibilidades de aplicação da metodologia em áreas “incomuns” estão se mostrando favoráveis na prática. Isto ficou evidente no exemplo sobre política eleitoral. Os especialistas em ciência política consultados puderam expressar diretamente a incerteza de suas ponderações. Na utilização de outros recursos de apoio, a necessidade de quantificar algo como “Honestidade do Candidato” fazia com que se perdesse a riqueza da informação lingüística, além do ceticismo natural dos especialistas em relação às conclusões obtidas.

A arquitetura da metodologia procurou cumprir com todos os objetivos inicialmente propostos neste trabalho, principalmente quanto à montagem de um modelo integrado de apoio e quanto aos objetivos específicos que foram enumerados no capítulo introdutório desta tese. O protótipo, resultado da implementação desta plataforma, mesmo que ainda carente de alguns aperfeiçoamentos, mostra a viabilidade prática da solução apresentada.

As constantes publicações internacionais de artigos científicos com propostas intimamente ligadas ao tema desta tese (estes artigos estão disponíveis na íntegra no Apêndice – 4 desta tese), além dos resultados práticos de aplicações que já estão disponíveis, fortalecem a conclusão de que investiu-se pesquisa, trabalho e dedicação em uma proposta inovadora (em relação ao processo de decisão em análise política) e que colaborou no sentido de mostrar caminhos promissores no processo de apoio à decisão. Em relação à Inteligência Computacional, mostrou-se que ainda há muito a explorar de seu potencial na área de decisão, principalmente através da construção de abordagens híbridas.

## **5.2 Recomendações**

Diversos aperfeiçoamentos foram sugeridos e merecem especial atenção para futuros estudos sobre esta tese:

- Elaboração de um mecanismo automático para a adaptação de soluções sugeridas por casos recuperados. Este mecanismo certamente compreenderia a definição de regras por parte do próprio Tomador de Decisão para atender a seu tipo de problema específico (o modelo atual facilita o processo de adaptação, mas não apresenta um mecanismo automatizado);
- Acrescentar o fator tempo ao processo, já que a evolução de cenário é um mecanismo dinâmico. A evolução de cenário é atualmente representada na abordagem através de ocorrências e ações importantes que vão sendo registradas, entretanto a possibilidade de se representar internamente a

evolução de desempenhos ou mesmo de critérios e pesos ao longo do tempo poderia melhorar o potencial de apoio;

- A implementação de um mecanismo de importação de casos (a partir de um banco de dados externo) poderia facilitar o processo de montagem de uma base de casos inicial para o problema específico do TD;
- O recurso RBC poderia ser ainda mais explorado, servindo como fonte de informação para o refinamento das funções de pertinência usadas para a representação de números difusos em critérios e na escala de pesos lingüísticos. A experiência de casos passados poderia indicar a adequação ou inadequação das funções escolhidas e seus formatos na representação do conhecimento vago. O refinamento seria feito com base nestas indicações;
- O uso de um método comparativo para a definição da escala de pesos pode significar um método alternativo para a avaliação da real influência de cada critério na análise de uma certa política. A ferramenta MACBETH, proposta por Bana e Costa (BANA e COSTA & VANSNICK, 1994), implementa um método comparativo que vai interativamente montando uma escala que mede o nível de impacto de cada critério de avaliação dentro de um determinado cenário. Esta comparação mostra mais claramente as diferenças de importância entre atributos;
- A aplicação de um método diferenciado para a avaliação da performance das alternativas sugerido por Maia (MAIA, 1991) poderia ser testado como opção ao método multicritério apresentado. Este modelo trabalha basicamente com o grau de pertinência em relação à função de pertinência única que representa um determinado conceito. Cada critério seria então modelado através de um conceito único e a adequação (desempenho) de cada alternativa em relação a cada critério seria obtida pelo grau de pertinência desta em relação à função representativa do critério.
- Além do estado inicial e final do caso avaliado e as ocorrências importantes que mostram a evolução do cenário, o cenário do caso em momentos relevantes poderia ser mantido, representando assim uma série histórica

disponível para recuperação, demonstrando de forma mais detalhada a evolução da situação até sua forma final;

- Existe uma opção de análise de sensibilidade disponível para verificar as possibilidades de uma das alternativas que não foram colocadas como primeiras no ordenamento, evoluírem e se tornarem a alternativa ótima. O processo é feito automaticamente pelo modelo, modificando valores de desempenho da alternativa escolhida em cada um dos critérios, de forma isolada. O modelo então indica se, alterando o desempenho da alternativa em um dos critérios, esta pode ou não ultrapassar o desempenho da atual alternativa ótima. Uma sugestão para futuros trabalhos seria incluir outras opções de análise automática de sensibilidade que incluíssem também mudanças pequenas isoladas em pesos de critérios para verificar o efeito na ordem das alternativas;
- A literatura na área de multicritério mostra que grande parte dos métodos fuzzy multicritério são de alguma forma susceptíveis ao problema de *reversão de ranqueamento* (este problema ocorre quando uma pequena mudança no valor do peso de algum critério ou no desempenho de alguma alternativa causa forte alteração no ordenamento originalmente proposto). Algumas análises preliminares já foram realizadas sobre o método de Soluções Ideais mostrando que este tipo de problema é incomum, entretanto, alguns testes mais efetivos ainda devem ser efetuados;
- A estruturação do modelo como um recurso multiusuário. Este foi um dos objetivos de utilizar o banco de dados Interbase, ou seja, permitir o futuro gerenciamento eficiente de múltiplos TD trabalhando em conjunto. Entre as vantagens deste recurso tem-se a facilidade para compartilhamento de casos (compartilhamento do conhecimento) e o conseqüente incremento desta base de casos;
- Novas áreas de aplicação para a metodologia podem ser exploradas. A utilização em novas áreas permitirá indicar novos aperfeiçoamentos e a ampliação dos recursos de auxílio e

- A possibilidade de diretamente manipular a opinião de diversos especialistas sobre desempenhos e pesos de critérios (como Grupos de Tomadores de Decisão) facilitaria a tarefa de agregar as opiniões e poderia trazer uma maior acurácia na avaliação das alternativas. O uso de Grupos de Tomadores de Decisão também é possível na versão atual do modelo, mas requer a agregação manual das opiniões.

Ainda existe muito a ser explorado sobre a potencialidade da combinação destas técnicas em uma abordagem de apoio à análise de políticas. O objetivo é continuar com o trabalho proposto nesta tese, buscando ampliar as possibilidades de uso destas metodologias em algumas outras etapas do processo de análise que ainda não foram suficientemente contempladas. O desenvolvimento deste trabalho como um projeto de pesquisa, envolvendo outros pesquisadores, certamente tornaria possível a implementação das recomendações aqui sugeridas, bem como poderia ampliar os estudos teóricos sobre o modelo de apoio proposto.

## Apêndice – 1 Ciclo Básico RBC e Mecanismo de Indexação

Como complemento às noções básicas sobre RBC apresentadas no Capítulo – 3, algumas informações adicionais são oferecidas sobre o esquema básico de funcionamento do mecanismo RBC e o que representa a técnica de indexação em um sistema RBC.

### A1.1 Ciclo Básico RBC

Um sistema RBC funciona comparando a descrição de um novo problema com os casos descritos em uma base de casos. O sistema então recupera o episódio mais parecido, avalia a necessidade de adaptar a solução presente neste episódio e aplica-a ao novo problema. De uma forma mais geral, este ciclo de atividades de um sistema RBC compreende 4 processos fundamentais (AAMODT & PLAZA, 1994):

- *Recuperação*: É um dos fundamentos de RBC. Apresentada a descrição de um novo problema, a base de casos é consultada para que se obtenha o caso armazenado mais similar ao novo problema sugerido. Esta recuperação é feita baseada em um cálculo de similaridade que leva em consideração informações importantes sobre os casos, ou seja, a análise de similaridade é feita sobre os índices que foram previamente definidos. Um procedimento de ordenação indicará então o caso mais similar a ser apresentado. Existem diversos tipos de algoritmos de recuperação. Entre os mais conhecidos estão (ABEL, 2000): algoritmo da vizinhança, algoritmo de indução, indução guiada por conhecimento e recuperação de padrões. Este cálculo de semelhança pode ser simples quando os índices envolvem valores quantitativos, mas requer uma análise mais cuidadosa quando representam valores difusos.

- *Adaptação (Reutilização)*: O caso recuperado no passo anterior será aquele com maior similaridade em relação ao novo problema. Este caso apresentará a solução aplicada para aquele episódio e esta poderá ser reutilizada para o novo caso. Pode ocorrer que a solução anterior seja suficiente para o novo problema, mas o usual é que se efetuem adaptações (podem representar acréscimos, remoções ou substituições na solução anterior) conforme exigir o caso atual. Usualmente a adaptação automática é realizada através do uso de regras, entretanto, este tipo de abordagem exige um elevado nível de conhecimento sobre o domínio da aplicação. Outras propostas não fazem automaticamente a adaptação, mas mostram em detalhe os passos da solução (as ações efetuadas) e as principais diferenças entre o novo caso e o caso recuperado. Desta forma, o usuário possui bons subsídios para realizar a adaptação manual com sucesso. Existem ainda soluções que aplicam informações sobre adaptações anteriores como auxílio para novas adaptações. Este é ainda um dos principais desafios para a área de RBC, ou seja, como realizar a adaptação de uma forma mais automatizada e com melhores resultados. Em grande parte dos sistemas RBC comerciais, o processo de adaptação é realizado de forma manual pelo próprio usuário, com alguns recursos que facilitam este processo.
- *Revisão*: Antes de armazenar o caso novo, deve-se proceder a uma análise rigorosa sobre a solução apresentada. Corresponde ao retorno real da aplicação da solução, ou seja, se está foi aplicada com sucesso ou falha. Se o caso for de falha, é importante que se armazene uma explicação relativa ao problema que ocasionou a falha para que este seja evitado em novos episódios similares. Também nesta fase é importante verificar se o caso atual é interessante e se este ensina uma lição importante para futuros problemas, logo, se o caso realmente deve fazer parte da base.
- *Retenção (Aprendizado)*: Um novo caso representando uma experiência vivida é armazenado na estrutura da base de casos (atualiza-se a base de casos). Esta etapa é fundamental em RBC uma vez que simboliza o aperfeiçoamento no auxílio ao usuário com a aquisição de novas experiências. É importante ressaltar que nem todos os casos devem ser



necessariamente armazenados na base. Somente aqueles episódios que representam lições importantes (experiências úteis - acréscimo) devem ser mantidos. Episódios úteis são também casos de falha. Desta forma fica caracterizando o processo de aprendizado, já que o caso recém retido já estará disponível para futuras consultas. O processo de aprendizado aqui discutido é a atualização de casos na base, mas existem outras formas de aprendizado em RBC, como o aperfeiçoamento no processo de recuperação e no refinamento dos índices.

Estas quatro fases compreendem o ciclo de atividades básicas que deve, de alguma forma, estar implementado em um sistema RBC. Existem técnicas distintas para efetivar cada etapa, mas mesmo que não tão sofisticados, devem-se prover mecanismos para a realização de cada fase. A Figura – A1.1 abaixo ilustra este ciclo fundamental RBC.

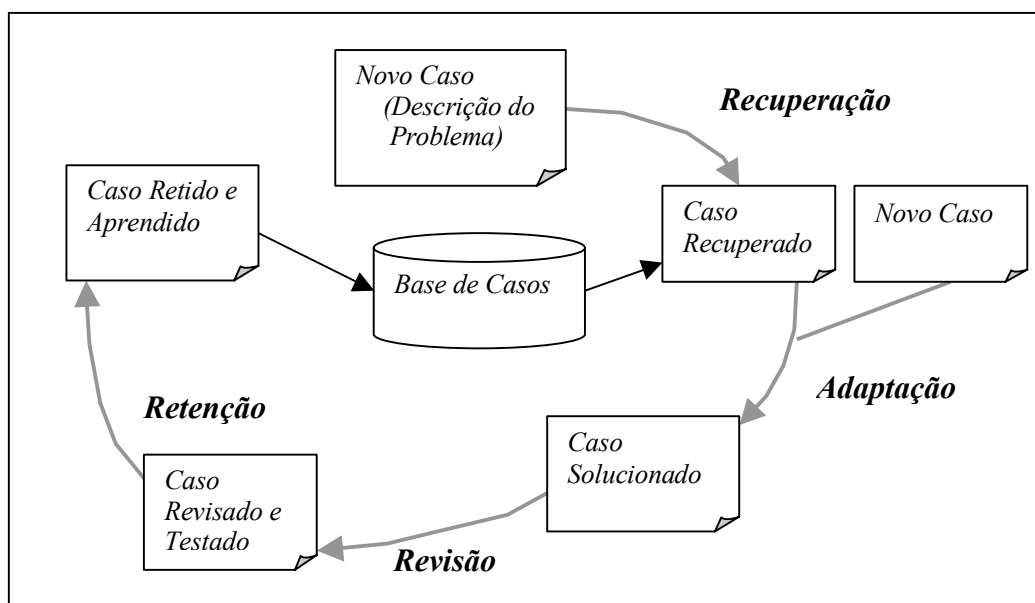


Figura – A1.1 Ciclo Básico RBC

## A1.2 Indexação

Um dos itens fundamentais para que o processo de recuperação seja realizado de forma eficiente é a correta indexação dos casos (o índice funciona como uma espécie de

rótulo para um caso). Os índices devem revelar informações (descritores que apontam características importantes do caso) relevantes que diferenciem claramente um caso de outro e que reconheçam similaridades úteis entre um novo caso e os casos armazenados. Estes índices funcionam para a busca de casos como o sistema de indexação usado para livros em bibliotecas.

A descrição de um novo problema deve preencher as informações referentes aos índices para a recuperação de casos similares, ou seja, este tipo de informação funcionará como uma chave de busca para o algoritmo de recuperação. É muito importante que os índices sejam adequadamente definidos, já que o sucesso da recuperação estará diretamente relacionada com esta escolha. Logo, o processo de definição dos índices deve prever a importância que um caso pode ter na resolução de um novo problema (devem ser descritores naturalmente usados como base na resolução de um tipo de problema). Somente a informação relevante estará indexada, o restante da informação meramente de contexto do caso não é indexada.

Apesar de tanto em RBC como em sistemas tradicionais de bancos de dados usar-se índices para acelerar a busca, existe uma certa distinção na forma de escolha dos índices em relação a sistemas tradicionais. Em sistemas tradicionais os índices usualmente dividem o conjunto de dados em partições de tamanho similar. Já em RBC, a idéia dos índices é cortar a base em peças que se diferenciem por algumas características essenciais para a realização da tarefa do usuário (como se fossem cortes semânticos, ou seja, com significado prático para a solução do problema).

Duas características, embora possam parecer conflitantes, são importantes para a definição de índices em sistemas RBC:

- Devem ser suficientemente abstratos para permitirem a recuperação de um caso em uma variedade de situações futuras e
- Devem ser suficientemente concretos para que o caso possa ser facilmente recuperado e distinguido dos demais casos no futuro.

É importante que o índice definido não seja extensivo demais, ou seja, não compreenda praticamente todas as informações do caso e ao mesmo tempo deve ser suficiente para permitir uma adequada distinção entre os casos (um meio termo deve ser obtido quanto a essas duas características).

Existem algumas técnicas de indexação automáticas (KOLODNER, 1993), como a *análise matemática* ou *métodos de generalização*, que ajudam a determinar os índices mais relevantes a partir de um número grande de casos, como por exemplo, através da verificação de casos que compartilham um conjunto comum de atributos (métodos baseados em similaridade). Afora estas técnicas automatizadas para a definição de índices, boa parte das aplicações práticas de RBC usa técnicas manuais para a escolha de índices (algumas vezes até com a combinação de técnicas manuais e automáticas), ou seja, o próprio usuário, conhecedor profundo do domínio de sua aplicação define quais índices, de forma mais proveitosa, podem ser usados na recuperação de casos. A análise deste processo de indexação tem mostrado que índices definidos de forma artesanal, pelo próprio usuário, costumam apresentar melhor desempenho devido ao nível de conhecimento do domínio que o usuário transfere a estes índices.

A escolha dos índices deve ser feita levando-se em consideração os seguintes passos:

- Selecionar um conjunto representativo de casos do domínio a ser tratado (com descrição dos problemas, soluções e resultados das soluções);
- Identificar as lições que os casos podem ensinar;
- Analisar em que situações os casos selecionados podem ser aplicados e
- Projetar os índices levando em consideração os tipos de problemas para os quais os casos serão úteis e quais características distinguem adequadamente os casos.

É importante ainda ressaltar que a base de casos em um sistema RBC cresce a medida em que novos episódios vão sendo aprendidos. Com o acúmulo de casos, é interessante que se façam novos testes para analisar a qualidade dos índices, ou seja, se continuam proporcionando a recuperação adequada de casos mais similares aos novos problemas apresentados.

## Apêndice – 2 Funções de Pertinência Disponíveis no Módulo Difuso

O módulo difuso da metodologia possui uma série de funções que podem ser escolhidas pelo Tomador de Decisão para representar o formato do conjunto difuso que melhor resume o termo lingüístico a ser modelado. O uso de modificadores lingüísticos, disponível no módulo difuso, amplia a representatividade destas funções. Na seqüência, são fornecidos detalhes sobre cada uma destas funções de pertinência disponíveis.

### 1. Função Triangular

A função de pertinência triangular, uma das mais aplicadas e exploradas devido à simplicidade computacional derivada das fórmulas que a envolvem, é determinada por três parâmetros  $\{a, b, c\}$ , com  $-\infty < a \leq b \leq c < \infty$ , que determinam as coordenadas das três extremidades da função. A função de pertinência  $f_A : \mathfrak{R} \rightarrow [0,1]$ , de um número difuso  $A$  triangular, é dada por:

$$(A2.1) \quad f(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{para } a \leq x \leq b. \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{para } b \leq x \leq c. \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

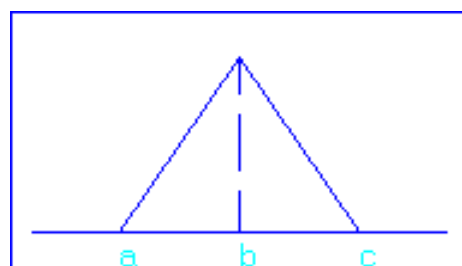


Figura – A2.1 Função Triangular

### 2. Função Trapezoidal

A função de pertinência trapezoidal também é uma das mais aplicadas, juntamente com as triangulares, devido à simplicidade de sua formulação para representar conjuntos difusos, principalmente em aplicações de tempo real que exigem respostas rápidas. Quatro parâmetros  $\{a, b, c, d\}$ , com  $-\infty < a \leq b \leq c \leq d < \infty$ , determinam as coordenadas extremas da função trapezoidal. A função de pertinência  $f_A : \mathfrak{R} \rightarrow [0,1]$ , de um número difuso  $A$  trapezoidal, é definida como:

$$(A2.2) \quad f(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{para } a \leq x \leq b. \\ 1, & \text{para } b \leq x \leq c. \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{para } c \leq x \leq d. \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

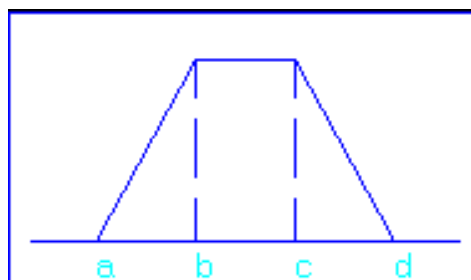


Figura – A2.2 Função Trapezoidal

O intervalo  $[b,c]$  fornece o máximo grau de pertinência de  $f(x)$  (isto é,  $f(x)=1$ ) e corresponde ao centro da função. É interessante ressaltar que a função trapezoidal é reduzida à triangular quando  $b = c$ .

### 3. Função Tipo Gamma

A função *Gamma* corresponde à porção esquerda, crescente, de um número difuso triangular ou trapezoidal. É uma função usualmente aplicada para representar conceitos extremos como “muito alto”, “muito forte”, na porção direita do universo de discurso. É determinada por dois parâmetros  $\{a,b\}$ , com  $-\infty < a \leq b < \infty$ . O suporte da função *Gamma* não se encerra no parâmetro  $b$ , mas sim no valor correspondente à coordenada final do universo de discurso (isto pode ser observado na descrição da função de pertinência abaixo). A função de pertinência  $f_A : \mathfrak{X} \rightarrow [0,1]$ , de um número difuso  $A$  *Gamma*, é definida como:

$$(A2.3) \quad f(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{para } a \leq x \leq b. \\ 1, & \text{para } \text{UniversoSup} \geq x \geq b. \\ 0, & \text{para } x \leq a \end{cases}$$

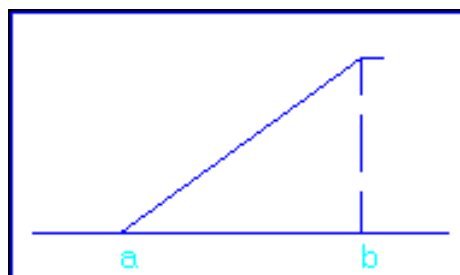


Figura – A2.3 Função Gamma

Onde  $UniversoSup$  representa o extremo superior do universo de discurso sobre o qual a função está definida.

#### 4. Função Tipo L

A função  $L$ , de forma complementar à  $Gamma$ , corresponde à porção direita, decrescente, de um número triangular ou trapezoidal. Também é usualmente empregada para representar conceitos extremos. É determinada por dois parâmetros  $\{a, b\}$ , com  $-\infty < a \leq b < \infty$ . O suporte da função  $L$  inicia no limite inferior do universo de discurso (e não em  $a$ ) e encerra-se no parâmetro  $b$ . A função de pertinência  $f_A : \mathfrak{R} \rightarrow [0,1]$ , de um número difuso  $A$  Tipo  $L$ , é determinada como abaixo:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{b-x}{b-a}, & \text{para } a \leq x \leq b. \\ 1, & \text{para } UniversoInf \leq x \leq a. \\ 0, & \text{para } x \geq b \end{cases}$$

(A2.4)

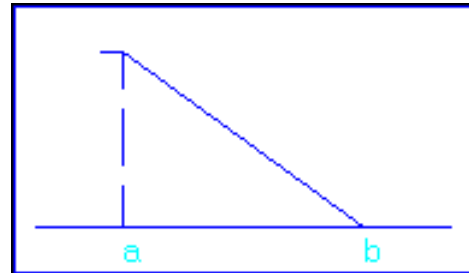


Figura – A2.4 Função Tipo L

Onde  $UniversoInf$  representa o limite inferior do universo de discurso sobre o qual a função está definida.

#### 5. Função Sino

A função  $Sino$  é uma curva tipo “spline” que tem sido aplicada para definir conjuntos difusos como uma opção ao formato linear imposto pela função trapezoidal e pela função triangular. É basicamente definida por quatro parâmetros  $\{a, b, c, d\}$ , com  $-\infty < a \leq b \leq c \leq d < \infty$ , que determinam as coordenadas extremas da função. Os parâmetros  $a$  e  $b$  representam os “pés” da curva, enquanto  $c$  e  $d$  representam os “ombros” da curva. A função de pertinência  $f_A : \mathfrak{R} \rightarrow [0,1]$ , para um número difuso  $A$   $Sino$ , é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} 2 * \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2, & \text{para } a \leq x \leq (a+b)/2. \\ 1 - 2 * \left( \frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \text{para } (a+b)/2 \leq x \leq b. \\ 1, & \text{para } b \leq x \leq c. \\ 1 - 2 * \left( \frac{x-c}{d-c} \right)^2, & \text{para } c \leq x \leq (c+d)/2. \\ 2 * \left( \frac{x-d}{d-c} \right)^2, & \text{para } (c+d)/2 \leq x \leq d. \\ 0, & \text{para } x \leq a \end{cases}$$

(A2.5)

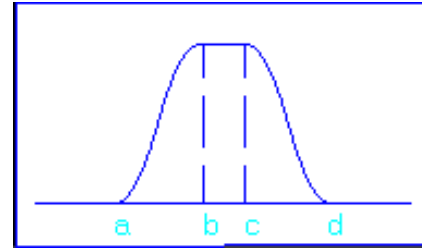


Figura – A2.5 Função Sino

Quando  $b = c$ , o centro da função fica reduzido a apenas um valor. É ainda conveniente lembrar que o formato da função Sino pode ser alterado conforme a necessidade do problema, através dos modificadores lingüísticos.

## 6. Função S

A função de pertinência  $S$  é uma curva que corresponde à parte esquerda crescente da função Sino, detalhada anteriormente. É usualmente aplicada para representar conceitos extremos devido ao seu formato. Dois parâmetros  $\{a, b\}$ , com  $-\infty < a \leq b < \infty$ , definem a função  $S$ . O suporte da função tem como limite inferior o parâmetro  $a$  e como final o limite superior do universo de discurso. A função de pertinência  $f_A : \mathfrak{R} \rightarrow [0,1]$ , de um número difuso  $A$  Tipo  $S$ , é determinada como segue:

$$f(x) = \begin{cases} 2 * \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2, & \text{para } a \leq x \leq (a+b)/2. \\ 1 - 2 * \left( \frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \text{para } (a+b)/2 \leq x \leq b. \\ 1, & \text{para } \text{UniversoSup} \geq x \geq b. \\ 0, & \text{para } x \geq b \end{cases}$$

(A2.6)

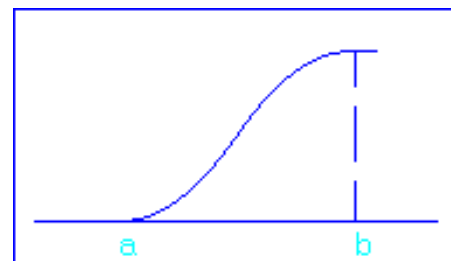


Figura – A2.6 Função S

### 7. Função Z

A função Z é também uma curva e corresponde à porção direita decrescente da função *Sino*. Usualmente representa conceitos extremos na parte inicial do universo de discurso como: “Muito Pequeno” ou “Muito Baixo”. Esta função é determinada através de dois parâmetros  $\{a,b\}$ , com  $-\infty < a \leq b < \infty$ . O suporte da função começa no limite inferior do universo de discurso e encerra-se no parâmetro  $b$ . Abaixo, a função de pertinência  $f_A : \mathfrak{R} \rightarrow [0,1]$ , para um número difuso Tipo Z, é apresentada:

$$f(x) = \begin{cases} 1 - 2 * \left( \frac{x-a}{b-a} \right)^2, & \text{para } a \leq x \leq (a+b)/2. \\ 2 * \left( \frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \text{para } (a+b)/2 \leq x \leq b. \\ 1, & \text{para } a \geq x \geq \text{UniversoInf}. \\ 0, & \text{para } x \geq b \end{cases}$$

(A2.7)

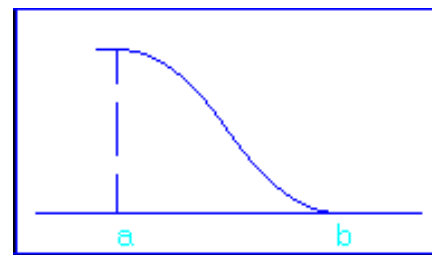


Figura – A2.7 Função Z

### 8. Função Singleton

A função de pertinência *Singleton* é usada, ao invés das outras apresentadas anteriormente, para expressar um valor certo. Esta função fica como alternativa quando o valor a ser representado não refere-se a uma expressão vaga ou incerta, mas sim a um valor exato. O suporte desta função é apenas um valor no universo de discurso que também representa o centro da função. A função Singleton apresenta apenas um parâmetro  $\{a\}$  (é o próprio suporte da função), com  $-\infty < a < \infty$ . A função de pertinência  $f_A : \mathfrak{R} \rightarrow [0,1]$ , para um valor *Singleton*, é apresentada abaixo:

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{para } x = a. \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

(A2.8)

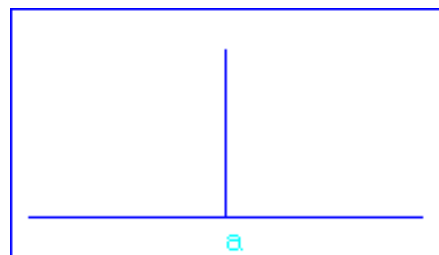


Figura – A2.8 Função Singleton



### 9. Função Geométrica

A função *Geométrica* está proposta no trabalho de Maia (MAIA, 1991) e foi adicionada como opção de função de pertinência para conceitos difusos na abordagem desta tese, devido a algumas características importantes e particulares deste tipo de função. Algumas destas características matemáticas desejáveis desta função são arroladas por Maia: facilidade de cálculo, pequeno número de parâmetros que descrevem a função e a significância destes parâmetros, é definida por uma única expressão, é contínua e tem derivadas contínuas.

Outra característica importante desta função é que ela pode ser ou crescente ou decrescente, conforme o valor do parâmetro  $a$  que será visto a seguir. Desta forma, a mesma função pode representar conceitos extremos bastante distintos.

Certamente, uma das importantes propriedades desta função refere-se à possibilidade de se poder sempre recuperar o valor que deu origem a um certo grau de pertinência ao conceito. O suporte deste tipo de função é representado por todo o universo de discurso, portanto, sempre será possível indicar o quanto um valor, ou um objeto, se enquadra em um conceito definido por esta função (o que não ocorre exatamente com outras funções).

Um valor positivo para o parâmetro  $a$ , indica uma função crescente, enquanto um valor negativo indica uma função geométrica decrescente (este parâmetro indica a forma de transição da curva). Quanto maior, em módulo, o valor de  $a$ , mais abrupta a transição.

Já o parâmetro  $b$ , indica o valor central da função, ou seja, representa o valor de indiferença ao conceito (o limiar entre a concordância e a discordância em relação ao conceito).

Apesar de ser definida inicialmente no intervalo  $[-1,1]$ , a função *Geométrica* estará definida nesta tese no intervalo  $[0,1]$ , já que este é o intervalo padrão usado para todas as demais funções, e por ser usado tradicionalmente na literatura difusa para indicar o grau de pertinência a um conceito.

A função Geométrica é determinada através de dois parâmetros  $\{a,b\}$ . Como esta função é inspirada em uma escala geométrica, é exigido  $b > 0$ , uma vez que se

considera nesta escala um valor  $x$  do universo de discurso como sendo a medida de um atributo físico de um objeto. A função de pertinência  $f_A : \mathfrak{X} \rightarrow [0,1]$ , de um conceito difuso  $A$  *Geométrico*, é determinada como segue:

$$y = f(x) = x^a / (x^a + b^a)$$

(A2.9)

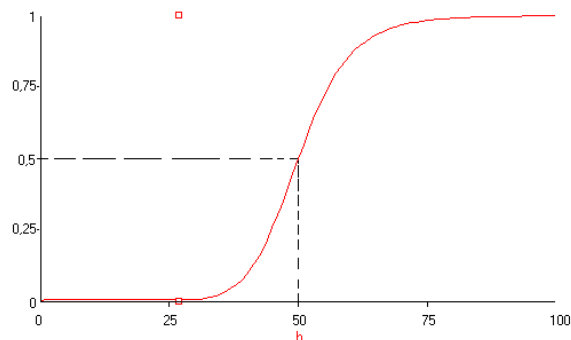


Figura – A2.9 Função Geométrica para a=10 e b=50

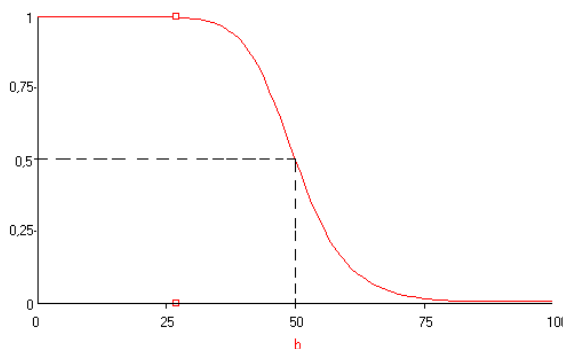


Figura – A2.10 Função Geométrica para a=-10 e b=50

Modificadores também estão disponíveis para a função *Geométrica*. Entretanto, os modificadores para esta função são definidos aos pares. O conceito elementar, já definido, pode ser modificado através de duas formas:

- Através do modificador  $w$ , que altera a inclinação da curva. Quanto maior o valor de  $w$ , em módulo, mais abrupta será a transição da curva. Quanto menor este valor, em módulo, mais suave é a transição. Se for invertido o sinal do valor de  $w$ , a curva mudará seu sentido, ou seja, passará de crescente para decrescente ou vice-versa.
- O modificador  $q$  altera o ponto de indiferença da função.

Pode-se aplicar separadamente cada modificador ou os dois de forma concomitante. A função modificadora é aplicada diretamente sobre o grau de pertinência  $y$  da função original, expressa como:

$$z = y^w / (y^w + q^w) \quad (\text{A2.10})$$

A Figura – A2.11 abaixo mostra a aplicação dos modificadores  $w=-2$  e  $q=10$ , sobre a função geométrica original apresentada na Figura – A1.9.

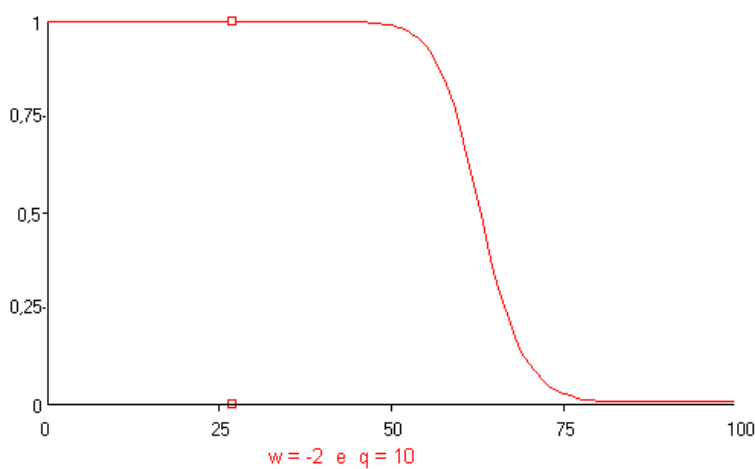


Figura – A2.11 Função *Geométrica* modificada

### Apêndice – 3 Os Valores Difusos Definidos para cada um dos Critérios do Exemplo Prático das Eleições

O exemplo prático desta tese usa onze critérios para avaliar as possibilidades de eleição dos quatro candidatos à presidência da república. Para avaliar o desempenho de cada candidato, em relação a cada um destes critérios (para a montagem da matriz de decisão difusa e para elaborar os perfis de candidatos ideais), escalas de valores difusos foram montadas com o auxílio da experiência de especialistas em ciência política e com o auxílio de alguns dados de pesquisa disponíveis.

As escalas de valores difusos são apresentadas abaixo para cada um dos critérios através de tabelas (o significado dos parâmetros de cada tipo de função pode ser observado no Apêndice – 2):

1. *Organização do Partido* (Universo de Discurso: [0,100]):

<b>Valor Lingüístico</b> (Conjunto Difuso)	<b>Tipo de Função</b>	<b>Parâmetros</b>
Baixa	Tipo Z	(20,30)
MédiaBaixa	Sino	(20,25,35,40)
Média	Sino	(35,45,55,65)
MédiaAlta	Sino	(60,70,80,90)
Alta	Tipo S	(80,90)

Tabela – A3.1 Valores lingüísticos para o critério *Organização do Partido*

A Figura – A3.1 abaixo mostra parte da interface do módulo difuso com as funções de pertinência dos valores lingüísticos para o critério *Organização do Partido*:

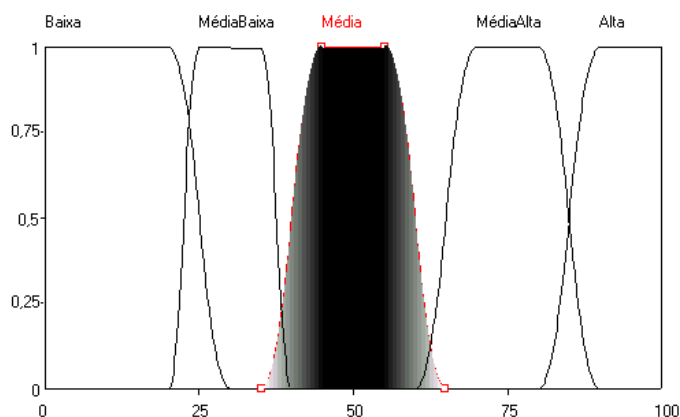


Figura – A3.1 Funções de pertinência para valores linguísticos do critério *Organização do Partido*

2. Índice de Rejeição (Universo de Discurso: [0,100]):

Valor Linguístico	Tipo de Função	Parâmetros
Baixo	Tipo Z	(20,30)
MédioBaixo	Sino	(20,25,35,40)
Médio	Sino	(35,45,55,65)
MédioAlto	Sino	(55,70,80,95)
Alto	Tipo S	(80,90)

Tabela – A3.2 Valores linguísticos para o critério *Índice de Rejeição*

A Figura – A3.1 abaixo mostra as funções de pertinência para os valores linguísticos referentes ao critério *Índice de Rejeição*:

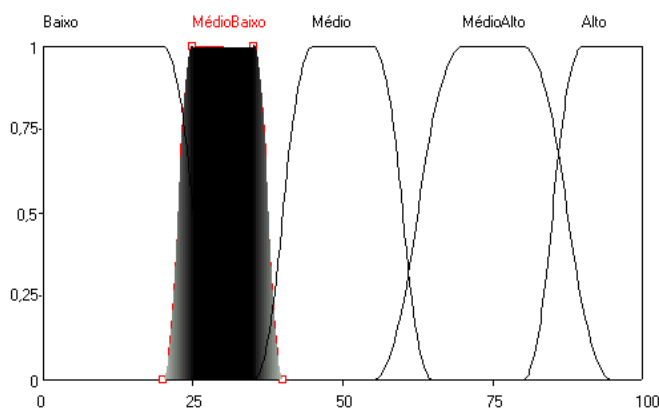


Figura – A3.2 Funções para os valores linguísticos do critério *Índice de Rejeição*

3. *Identificação Popular com Partido* (Universo de Discurso: [0,100]) :

Valor Lingüístico (Conjunto Difuso)	Tipo de Função	Parâmetros
Baixa	Tipo Z	(15,25)
MédiaBaixa	Sino	(20,25,35,40)
Média	Sino	(35,45,55,65)
MédiaAlta	Sino	(55,70,80,95)
Alta	Tipo S	(75,90)

Tabela – A3.3 Valores lingüísticos para o critério *Identificação Popular com Partido*

A Figura – A3.3, a seguir, exhibe as funções de pertinência para os valores lingüísticos referentes ao critério *Identificação Popular com Partido*:

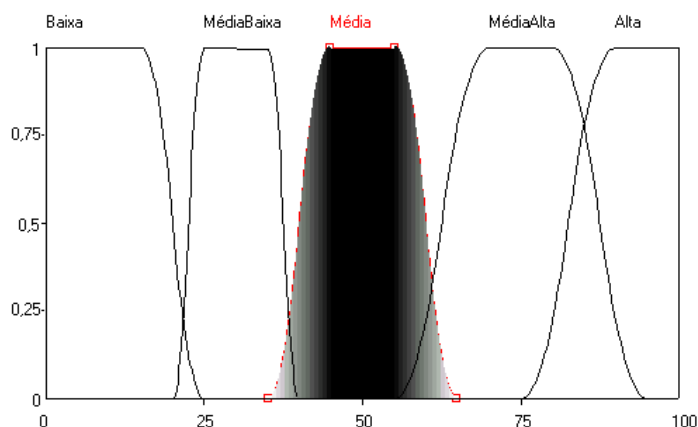


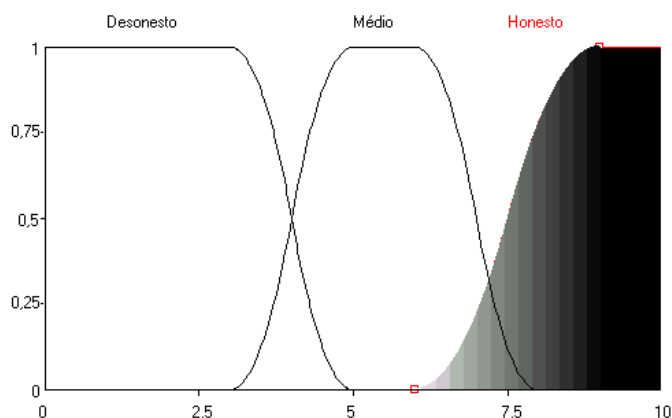
Figura – A3.3 Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Identificação Popular com Partido*

4. *Honestidade do Candidato* (Universo de Discurso: [0,10]):

<b>Valor Lingüístico</b> (Conjunto Difuso)	<b>Tipo de Função</b>	<b>Parâmetros</b>
Desonesto	Tipo Z	(3,5)
Médio	Sino	(3,5,6,8)
Honesto	Tipo S	(6,9)

Tabela – A3.4 Valores lingüísticos referentes ao critério *Honestidade do Candidato*

A Figura – A3.4 mostra graficamente as funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Honestidade do Candidato*:

Figura – A3.4 Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Honestidade do Candidato*

5. Competência do Candidato (Universo de Discurso: [0,10]):

<b>Valor Lingüístico</b> (Conjunto Difuso)	<b>Tipo de Função</b>	<b>Parâmetros</b>
Incompetente	Tipo Z	(1,2)
Pouco	Sino	(1,2,3,4)
Médio	Sino	(3,5,6,7)
Competente	Sino	(6,7,8,9)
MuitoCompetente	Tipo S	(8,9)

Tabela – A3.5 Valores lingüísticos referentes ao critério *Competência do Candidato*

A Figura – A3.5, a seguir, mostra graficamente o formato das funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Competência do Candidato*:

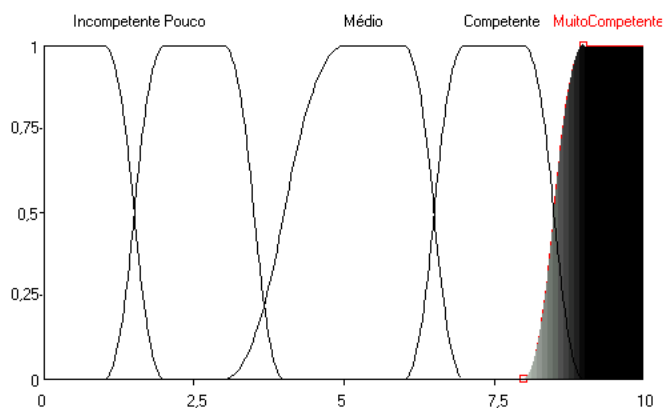


Figura – A3.5 Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Competência do Candidato*

6. *Tempo de Horário Gratuito* (Universo de Discurso expresso em minutos:  $[0,20]$ ):

<b>Valor Lingüístico</b> (Conjunto Difuso)	<b>Tipo de Função</b>	<b>Parâmetros</b>
Insuficiente	Tipo Z	(1,3)
Médio	Sino	(2,3,4,5)
Suficiente	Tipo S	(4,5)

Tabela – A3.6 Valores lingüísticos referentes ao critério *Tempo de Horário Gratuito*

A Figura – A3.6 exibe graficamente o formato das funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Tempo de Horário Gratuito*:



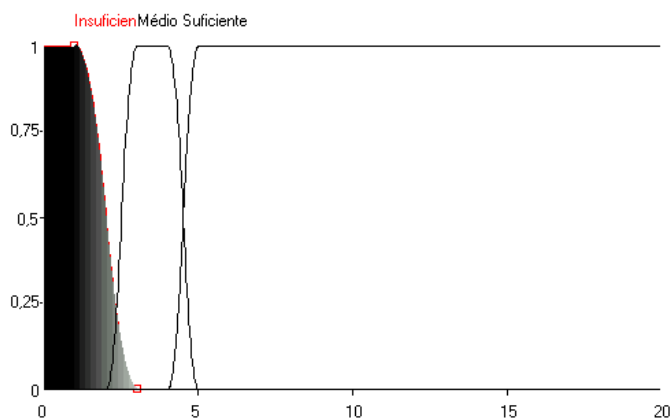


Figura – A3.6 Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério Tempo de Horário Gratuito

7. *Investimentos em Campanha* (Universo de Discurso: [0,100]) :

Valor Lingüístico	Tipo de Função	Parâmetros
Baixo	Tipo Z	(20,30)
MédioBaixo	Sino	(20,30,35,40)
Médio	Sino	(35,45,55,65)
MédioAlto	Sino	(50,70,80,90)
Alto	Tipo S	(80,90)

Tabela – A3.7 Valores lingüísticos para o critério *Investimentos em Campanha*

A seguir, a Figura – A3.7 mostra as funções de pertinência para os valores lingüísticos referentes ao critério *Investimentos em Campanha*:

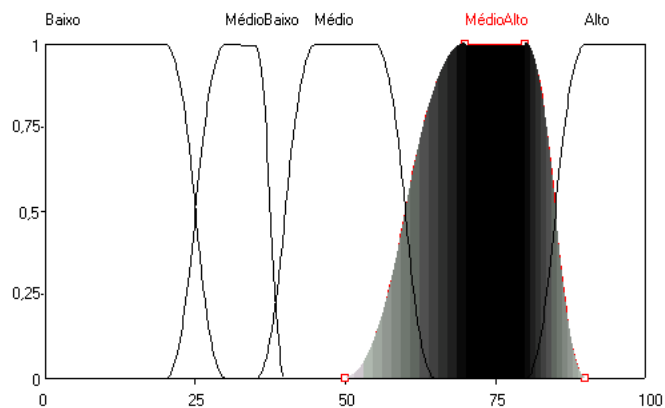


Figura – A3.7 Funções para os valores lingüísticos do critério *Investimentos em Campanha*

8. Risco para a Estabilidade Econômica (Universo de Discurso: [0,100]):

Valor Lingüístico (Conjunto Difuso)	Tipo de Função	Parâmetros
Baixo	Tipo Z	(10,20)
MédioBaixo	Sino	(10,20,30,40)
Médio	Sino	(30,40,50,60)
MédioAlto	Sino	(50,60,70,80)
Alto	Tipo S	(70,80)

Tabela – A3.8 Valores lingüísticos referentes ao critério *Risco para a Estabilidade Econômica*

A Figura – A3.8 mostra detalhes dos formatos das funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Risco para a Estabilidade Econômica*:

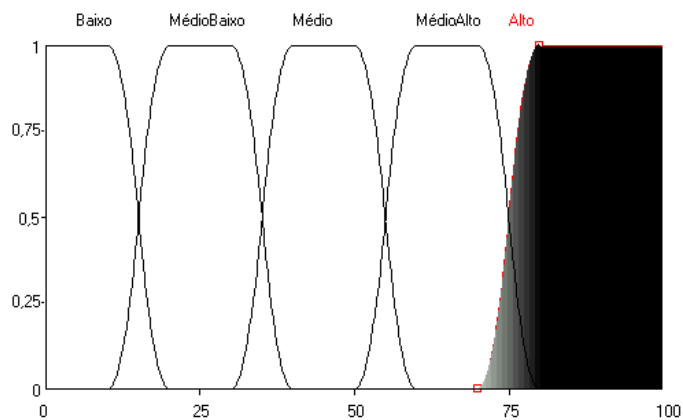


Figura – A3.8 Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Risco para a Estabilidade Econômica*

9. Empatia com o Eleitorado (Universo de Discurso: [0,100]):

<b>Valor Lingüístico</b> (Conjunto Difuso)	<b>Tipo de Função</b>	<b>Parâmetros</b>
Pouca	Tipo Z	(10,25)
MédiaBaixa	Sino	(15,25,35,45)
Média	Sino	(35,45,55,65)
MédiaAlta	Sino	(55,65,75,85)
Muita	Tipo S	(75,85)

Tabela – A3.9 Valores lingüísticos referentes ao critério *Empatia com o Eleitorado*

A Figura – A3.9 abaixo mostra parte da interface do módulo difuso com as funções de pertinência dos valores lingüísticos para o critério *Empatia com o Eleitorado*:

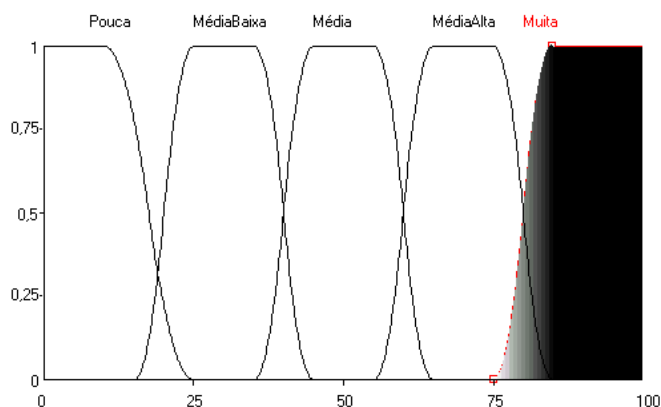


Figura – A3.9 Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Empatia com o Eleitorado*

10. Tratamento da Mídia (Universo de Discurso: [0,100]):

<b>Valor Lingüístico</b> (Conjunto Difuso)	<b>Tipo de Função</b>	<b>Parâmetros</b>
MuitoContrário	Tipo Z	(10,30)
Contrário	Sino	(15,25,35,45)
Neutro	Sino	(40,45,55,60)
Apoio	Sino	(50,65,75,90)
MuitoApoio	Tipo S	(80,90)

Tabela – A3.10 Valores lingüísticos referentes ao critério *Tratamento da Mídia*

A Figura – A3.10, a seguir, exibe os formatos das funções de pertinência para os valores lingüísticos referentes ao critério *Tratamento da Mídia*:

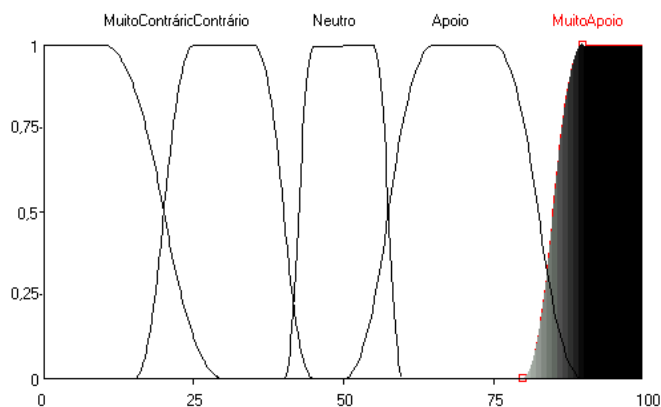


Figura – A3.10 Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Tratamento da Mídia*

11. *Posicionamento em relação ao governo* (Universo de Discurso: [0,10]):

Valor Lingüístico (Conjunto Difuso)	Tipo de Função	Parâmetros
Situação	Tipo Z	(2,3)
PoucaOposição	Sino	(2,3,4,5)
MédiaOposição	Sino	(4,5,6,7)
Oposição	Sino	(6,7,8,9)
MuitaOposição	Tipo S	(8,9)

Tabela – A5.11 Valores lingüísticos referentes ao critério *Posicionamento em relação ao governo*

A Figura – A3.11, abaixo, mostra graficamente as funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Posicionamento em relação ao governo*:

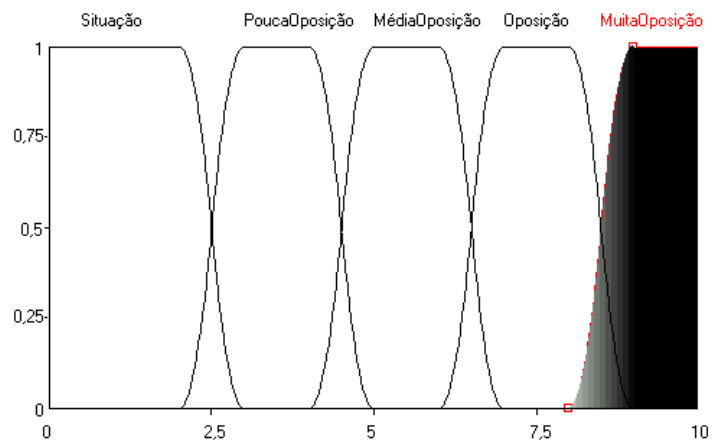


Figura – A3.11 Funções de pertinência para os valores lingüísticos do critério *Posicionamento em relação ao governo*

## Apêndice – 4 Artigos Publicados

Este apêndice contém os cinco principais artigos publicados durante o período de preparação desta tese. O objetivo é agrupar e facilitar o acesso aos trabalhos que originaram esta tese. Os artigos estão organizados em ordem ascendente cronológica de publicação. Abaixo resume-se a idéia central de cada trabalho e cita-se o congresso ou periódico no qual foi publicado:

- **Título:** *Application of Fuzzy Sets in Political Science* (ROYES et al, 2001)

**Evento:** *International ICSC Congress on Computational Intelligence - Second International ICSC Symposium on FUZZY LOGIC AND APPLICATIONS*

**Idéia Pricipal:** Sugerir o uso de regras difusas na previsão da possibilidade de reeleição de candidatos.

- **Título:** *Fuzzy Sets in Political Science* (ROYES & BASTOS, 2001a)

**Evento:** *Joint 9<sup>th</sup> IFSA World Congress and 20<sup>th</sup> Nafips International Conference*

**Idéia Pricipal:** Como o trabalho anterior, sugere o uso de regras difusas no processo de previsão eleitoral, entretanto apresenta uma discussão mais detalhada sobre as dificuldades deste processo e sobre a influência no uso de diferentes operadores de agregação (uso de operadores compensatórios).

- **Título:** *Fuzzy MCDM in Election Prediction* (ROYES & BASTOS, 2001b)

**Evento:** *International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2001*

**Idéia Pricipal:** Propõe o uso de conjuntos difusos com a abordagem multicritério para a previsão eleitoral em eleições multipartidárias. A aplicação proposta é específica para previsão eleitoral.

- **Título:** *Political Analysis Using Fuzzy MCDM* (ROYES & BASTOS, 2001c)

**Periódico:** *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*

**Idéia Pricipal:** Aprofunda a discussão do uso de Multicritério Difuso em previsão eleitoral. Segue a idéia do artigo anterior, mas é muito mais detalhado e já vislumbra a possibilidade de acrescentar RBC para auxiliar na análise.

➤ **Título:** *Using Fuzzy MCDM and Case-Based Reasoning to Support General Decision Making* (ROYES & BASTOS, 2002)

**Evento:** *AAAI Spring Symposium*

**Idéia Pricipal:** Apresenta a metodologia desta tese como recurso importante e inovador para o processo de tomada de decisão.

## Application of Fuzzy Sets in Political Science

Prof. Gleiber Fernandes Royes, M.Sc.<sup>1</sup>

[gleiber@prsc.mpf.gov.br](mailto:gleiber@prsc.mpf.gov.br)

Prof. Rogério Cid Bastos, Dr.<sup>1</sup>

[rogerio@reitoria.ufsc.br](mailto:rogerio@reitoria.ufsc.br)

Prof. Golber Fernandes Royes, M.Sc.<sup>2</sup>

[golberr@bol.com.br](mailto:golberr@bol.com.br)

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina – Curso de Pós-Graduação em Ciência Computação – CPGCC  
Florianópolis - SC – Brazil - Phone: +55 48 3319738 / Fax: +55 48 3319566

<sup>2</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre - RS - Brazil - Phone: +55 51 3432789

### Abstract

Several computational intelligence (CI) paradigms have been popularized by their broad use in industry. Intelligent systems have been used as a kernel of many domestic appliances of common use. The practical value of these techniques is seldom questioned in areas like engineering and medicine. However, there are other fields still waiting to be explored. The appearance of new paradigms in CI that can deal with uncertainty has facilitated the construction of different kinds of expert systems. Treating uncertainty with Fuzzy Logic (FL) in politics is an exercise that may demonstrate a new possibility of the use of expert systems, opposing to the idea that vagueness, as presented here, is a source of great complexity, only approachable by human experts. The area known as social science, which for a long time has been held in reserve for human specialists, can now be aided by intelligent systems regarding decision making.

**Keywords:** Computational Intelligence, Fuzzy Sets, Political Science, Decision Theory.

### I – Introduction

The application of CI tools in problem resolution has been showing a strong growth. But some obstacles are still present. It is really difficult to deny the benefits in using expert systems in areas like medicine, engineering or economy. These systems act as allies to professionals, supporting diagnosis and helping in decision making. Some opposition, even in the traditional areas mentioned above, though sporadic, still remain. The continuous expansion of CI shows the wide possibilities open to CI applications. Relatively recent paradigms, like Fuzzy Sets Theory [1], Neural Networks and Evolutionary Computation, have greatly

contributed to CI maturity. The research of those techniques is no more restricted to universities, but their employment has now achieved significant space in big corporations.

This work emphasizes an uncommon use of CI, since it deals with an area that is not often tackled by researchers. At the vast spectrum of social sciences, one that stands out and involves the appreciation of experimented experts is **politics**. Although common people usually make comments about politics, the analysis in this area involves the consideration of several variables, many of them obtained from opinion surveys. The use of CI in social sciences securely delayed because of the absence of appropriate tools that could simulate expert reasoning in this domain. Conclusions are based on theses and the statements are extremely vague and imprecise. Therefore, without a method that can represent correctly this vagueness, it is almost impossible to design a robust system. To deal with imprecision, FL has been showing a vast applicability. Its fundamental idea resides in treating uncertainty through the concept of Linguistic Variables and Linguistic Values that delimit in imprecise form the values that can be assumed by these variables. Fuzzy logic does not use precise concepts as “X is (or is not) a member of the set S”, or  $X=3.55$ . Instead, the basic idea can be expressed by affirmatives like “X is a member of the fuzzy set F with a degree of membership of 0.8”. This kind of reasoning can naturally summarize the reasoning employed by political scientists and is usually adopted in other social sciences. For example, it is highly improbable that an expert in politics would make an affirmative like this:

*“If the Popular Acceptance Level of candidate C is equal to 0.74 and the Level of Satisfaction with his current administration is equal to 0.83 and the Power of*



*the Opposition Leadership is equal to 0.26, then the chance of reelection will be equal to 0.92.”*

The kind of reasoning more common and appropriate certainly would be:

*“If the Popular Acceptance Level of candidate C is high and the Level of Satisfaction with his current administration is high and the Power of the Opposition Leadership is weak then reelection chances will be high.”*

Fuzzy Logic makes it possible to implement the second reasoning form computationally, representing the language used in politics in a more natural and realistic way. This confers to the final model, presented at the end of this work, a greater credibility and also an answer closer to actual expectations. Another benefit in using FL in this domain is the fact that it is easy to explain the results generated by the system. Thus, it is possible to inexperienced scientists to understand the process of reasoning. The confidence in a system that can explain its results is another good point.

The purpose of this work is to demonstrate the feasibility of building an expert system that can assist in the political decision making process, presenting as its main result “the **reelection chances** of a current president, governor or mayor”, based on the values of some important linguistic variables. Political scientists or marketing experts assess the electoral succession process basically using opinion surveys, which allow for the analyses of reelection possibilities. It is in this aspect of decision making (“**Campaign for reelection or not?**”) that the system was proposed. The expert system was fundamentally defined by an opinion sampling [2] and also via successive meetings with an expert in politics.

The subsequent sections of this work are organized as follows: II– Politics Overview, III– Fuzzy Logic and Politics, IV– The proposed Expert System and V– Conclusions and future work.

## II – Politics Overview

One of the greatest human challenges, which has always been a source of speculation and controversy, is predicting the future. Along history, the possibility of foreseeing the future has been a constant aspiration of mankind and the object of study of many authors and researchers. In spite of the impossibility of achieving a totally accurate method, important progress has been made in this area. In social sciences, especially in politics, it is common sense that it is difficult to make exact prognostics, on account of the high degree of variability of the human factor that participates at all moments in the process.

In political science, as opposed to what people normally believe, the research on the prediction of human behavior has been growing since the 1950’s, especially regarding electoral opinion: the vote. The consolidation of democracy, founded on autonomous choices made in straight electoral processes. This topic, considering the implicit legitimization of power associated with the manifestation of popular desire by the vote, has been arousing the interest of political scientists since the end of the Second World War. In this respect, Huntington [3] observed: “The elections are not only the democracy life; they are also the dictatorship death”.

In the last fifty years, political scientists, have been cautious in the task of understanding electoral behavior and of identifying the real elements that can explain how an individual make an option between one or another candidate, between one or another party. To find responses to these and other related questions, several theories have been formulated trying to recognize the pertaining phenomena, and the characteristics of the electoral choice process, be it in a collective sense, or as a result of individual choices.

Within this perspective, several phenomena like party support, influence of social-economic factors on the empathy with individual candidates have been the object of systematic study, which strives for the comprehension of the electoral behavior and of the forces that drive the results of an election. In fact, more recent research has polarized the discussion about electoral behavior. One theory affirms that the elector is essentially rational (*rational choice theory*). This means that an elector prefers one candidate to another in accordance with the possibilities of the candidate to satisfy some of his individual necessities or some of the group necessities to which he belongs. Another theory advocates that the elector, mainly the less cultured majority, is not rational and could be influenced by factors of emotional and affective nature. In accordance with Silveira [4], the elector “... gets the information about the candidate and the electoral dispute through the media, and associates, guided by an instinctive combination, the information captured with a frame of symbolic and valuable reference ... when this information about the candidate is similar with the frame characteristics... , the elector makes his choice.”

In spite of the different nature of the two theories mentioned, both agree about their main objective: anticipate, with some confidence, the results of an election. Even the theory that denies rationality in the process of electoral choice (thereby emphasizing that preferences are motivated by subjective appeals and stimulated by different media — TV, Radio, Internet, etc, improved by political marketing techniques) reveals important facets of the electoral behavior, thus providing aid on how to predict it.

### III - Fuzzy Logic and Politics

The use of fuzzy sets in areas already traditional to CI, as engineering and medicine, has become a common practice, principally in the construction of Control Systems [5], Classifying [6], Diagnosis Systems [6] and Decision Making [7][8]. The vagueness and the absence of precise limits certainly point to the use of this important mechanism. The success attained by FL in those areas certainly increase the interest of using it in areas in which Expert Systems have been rarely employed, possibly by the lack of techniques that could properly model the existing problems. The use of incorrect techniques may lead experts to discredit in the potential help that the future system could supply.

The fuzzy logic approach in social sciences tends to grow especially because it is an appropriate technique to represent the problems and their resolutions in the same manner the experts in this area do. Social sciences differ from exact sciences because of their relations with human behavior. In the former, the intervening variables are not susceptible to objective measurement, and analytic mappings are usually unavailable. Social scientists use a lot of logic to elaborate their theses and conclusions, but exact resulting values are not the main objective. Precision cannot be achieved in the premises and it is rarely present in the conclusions, but this does not invalidate neither depreciates the reasoning process. Obtaining a correct and well founded conclusion is much more valuable than an "exact number". In Politics, one of the most important and traditional social sciences, an outstanding characteristic is that the reasoning is based on imprecise statements and vague concepts. The political analysis has many aspects that can be measured through opinion polls. To interpret the results, the knowledge of an expert is needed, who will weigh up, in an imprecise manner, the raw data. Imprecision, as stated here, should not be confused either with incorrectness or with unpredictability. Prediction is actually possible and the provision of correct conclusions is the fundamental objective.

In politics, precision is not so important as in other sciences. For example, the limit between a high or medium *Degree of Acceptance* attributed to a politician is imprecise. In another words, is it possible to say that a *Degree of Acceptance* of 90% will be certainly considered high, while a degree of 75% will be considered medium? To take into account this kind of uncertainty, the universe of discourse of each variable in the problem is divided into various fuzzy sets, which may overlap and form ambiguous regions for some values of the variable. For the example above, as will be

detailed in the next section, the variable *Degree of Acceptance* could be described as follows:

Degree of Acceptance Domain (%)	Fuzzy Set (Linguistic Value)
0 - 30	Low
20-50	Medium Low
40-70	Medium
60-85	Medium High
75-100	High

Table 1: Description of a variable with Fuzzy Sets

A membership function translates exact values (crisp) of the variable *Degree of Acceptance* into "degrees of membership" in each of the sets defined for the variable. In this way, according to the membership functions, the crisp value 84% could be "fuzzified", yielding a degree of membership of **0.2** in the fuzzy set **Medium High** and, at the same time, **0.9** in **High**. Thus, it is possible to conclude that 84% belongs more intensely to set **High** than to **Medium High**. An expert in politics would certainly make a similar reasoning when evaluating that value, considering that 84% can be assessed as **High**, but he will concede that the same value can be also considered **Medium High** (AMBIGUITY!). In politics it is common to work with imprecision, and contrarily to what most people usually suppose, this still can yield coherent and reliable conclusions.

The fuzzy system to be developed in this paper aims the capture of the reasoning process employed by politics experts in a natural form. To reach the conclusions, rules that are defined with an expert direct help will be applied, along with some uncertainty principles. The whole process of modeling imprecise knowledge corroborates the possibility of representing the subjective manner of political reasoning. The definition of the rules, as well as the system working details, are presented in the next section.

### IV – The Expert System

The system proposed as the practical result at this work emphasizes a polemical facet of politics. The reelection possibility of a present president, governor or mayor, has always been a major target of the analyses of experts and scientists, who try to ponder a set of factors, usually obtained through opinion polls. The expert knowledge obtained through constant studies, added to analysis of the surveys, lead to conclusions that usually predict, with a good level of confidence, the reelection chances of a candidate.

The system outputs will be useful to help a candidate on deciding to "run or not for reelection". The underlying idea is to supply another "opinion", completely free

from personal beliefs, external pressures or even some biased circumstances of a particular political situation. It would be also useful when the expert assistance becomes impracticable due to financial or privacy reasons.

The main objective of the system prototyped here is to illustrate how an expanding CI technique can be used in a social science like politics. It is also discussed how some situations in politics can be predicted through the use of an intelligent system. The platform used to build the expert system was the shell UNFUZZY [9], developed by Universidad Nacional de Colombia.

Certainly, there exists a vast list of variables that can influence the possibility of a candidate reelection. In the system only 3 variables were used, in accordance to the surveys and the expert opinion. Those variables demonstrated to be decisive for the definition of reelection chances, although it was noticed that two additional variables are worth to be added in the future. The expert system works with the following input linguistic variables:

### 1. Degree of Acceptance

The elector answers, in the survey, the question: "How do you classify the present candidate administration?"

The possible answers offered to this question are: **Excellent, Good, Regular Positive, Regular, Regular Negative, Bad and Very Bad.**

The crisp value that is used as the input to this variable is obtained from the sum of the answers to the alternatives. In this way, the raw data corresponds to an assessment of how the electors rank, in general, the individual administrative merit of a present mayor, governor or president.

### 2. Administrative Excellence Factor

The value of this variable is provided through the weighted sum of the responses obtained in the previous question. It is calculated as follows:

$$AEF = 4 * \text{Excellent} + 3 * \text{Good} + 2 * \text{Regular+} + \text{Regular} + (-2) * \text{Regular-} + (-3) * \text{Bad} + (-4) * \text{Very Bad}$$

The minimum value will be -400 when all people answer *Very Bad* to previous question and the maximum will be 400 when all people answer *Excellent*.

The purpose of this variable is to refine the results obtained by the answers to the previous question. To avoid possible statistical distortions, more importance is given to extreme answers like **Very Bad** or **Excellent**.

In this way it is possible to make a better appraisal of the actual candidate acceptance.

### 3. Power of Opposition Leaderships

The value of this variable is also estimated by the poll results. It is related to the opposition candidates to the reelection and the power that they represent. Though a crisp value input is necessary as the input to the system, what matters is to classify the kind of power of the opposition leadership as *Strong, Medium* or *Weak*.

**Strong:** Indicates that the prospective candidates represent a serious obstacle to the reelection.

**Medium:** Indicates that the candidates can represent some impediment to reelection.

**Weak:** Opposition candidates do not represent danger to reelection.

If, for example, candidates with high values for *Degree of Acceptance* and *Administrative Excellence Factor* present a *Strong* value to variable *Power of Opposition Leaderships*, they will have smaller chances than they would have against *medium* or *weak* opponents. This variable will work, in practice, as a counterbalance to the final conclusion.

The expert identified other possible input variables. Two of them can be considered in a future system refinement:

- Popular degree of acceptance of the candidate party (only applicable in regions where enough information exists about the distinct form of actuation of political parties);
- Performance of a candidate in a simulated election. It would be of interest to compare a candidate to reelection with other possible candidates.

The output variable consolidates the result of the analysis performed by the system. A final crisp value, resultant from the defuzzification process, expressed as a percentual value, provides the reelection chances of a candidate, given the initial values for the input variables.

For all variables, both input and output, the respective Universes of Discourse were defined and also the fuzzy sets ("linguistic values") that describe each of the variables. Those sets were specified with the expert assistance. The reasoning employed by the expert to define the sets highlights the imprecision nature of the problem. For instance, it is easy to say that 90% is a *High* value of the *Degree of Acceptance*. However, 80% might also be considered a *High* value, although it could be also evaluated as *Medium High*. The number of linguistic labels for the variables was considered adequate for the expert. A larger number of sets would not contribute to make the final results more accurate. Table 2 lists the Universes of Discourse and the Fuzzy Sets for each variable:

Linguistic Variable	Universe of Discourse	Fuzzy Sets
Degree of Acceptance	[0, 100]	Low, Medium Low, Medium, Medium High, and High
Administrative Excellence Factor	[-400, 400]	Low, Medium Low, Medium, Medium High, and High
Power of Opposition Leaderships	[0, 100]	Weak, Medium and Strong
Reelection Chances	[0%, 100 %]	Very Low, Low, Medium, High and Very High

Table 2: Linguistic Variables and their respective Universes of Discourse and Fuzzy Sets Partitions

In a Fuzzy Expert System the membership functions [10] enable the system calculates degrees of membership in relation to each set, given a particular crisp value. These functions must be defined in a way that may appropriately reflect the changes in the degree of membership in each set, associated with changes in the crisp value. The membership functions selected for almost all fuzzy sets are basically combinations of functions type **S** and **Z**. Figure 1 illustrates the membership functions for the fuzzy sets pertaining to the variable *Degree of Acceptance*.

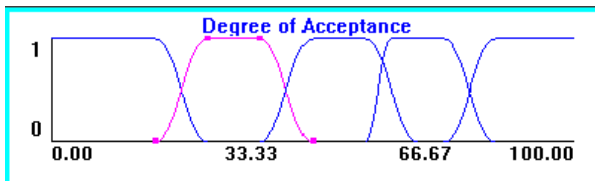


Figure 1: Membership Functions

- portion to the left from the nucleus<sup>1</sup>: function type **S**
- nucleus (degree of membership = 1)
- portion to the right from the nucleus: function type **Z**

These functions have been chosen because they present a gradual change in the degrees of membership, that is traduced in a representation closer to the interpretation of the expert and to the problem. Less smooth functions, like pyramidal or triangular, showed to be less adequate.

The following example illustrates the operation of the expert system from the input of data to the final value, which represents the chances of reelection of a candidate. The values shown bellow refer to the indexes obtained for one of the possible candidates to reelection

<sup>1</sup> The nucleus represents values with degree of membership equal to 1 in the set.

that was investigated by a magazine. The input values, which will be used in the next stages of the process, are the following:

**Degree of Acceptance = 78.0**  
**Administrative Excellence Factor = 137.4**  
**Power of Opposition Leaderships = 20**

The value **20** for *Power of Opposition Leaderships* refers to the information contained in magazine, that detects the existence of opposition leadership, but the respective candidates are not expressive. The other two values were collected directly from the text.

After the values of the input variables are recorded, the system permits two forms of execution:

- *Step by Step*: in this form, each of the execution stages can be analyzed separately.
- *All*: In this option all the steps are executed in only one pass. The final result (reelection chances) is shown almost immediately.

To examine the process in more detail, the *Step by Step* method will be used. Thus it will be possible to visualize in detail each one of the stages until the final output.

**1<sup>st</sup> Step:** The 1<sup>st</sup> step corresponds to the fuzzification process, in others words, the input crisp values are transformed into degrees of membership in the defined fuzzy sets. In the example above, a **Degree of Acceptance = 78.0** yields the following degrees of membership, using the previous defined membership functions:

- In the **Medium High** set, the value 78.0 is inside the set limits (60 to 85) and therefore it have a degree of membership in this set. According to the membership function previously defined for this set, this value will be applied to a **Z** function, resulting in the following:

$$\text{Medium\_High\_Degree} = 1 - 2 * ((78 - 75) / (85 - 75))^2 = 0.82$$

In the equation, 75 and 85 correspond to the initial and final limits to this **Z** function.

- In the **High** set, the value 78.0 will be applied to a **S** function:

$$\text{High\_Degree} = 2 * ((78 - 75) / (85 - 75))^2 = 0.18$$

- For the others fuzzy sets, the value 78.0 results in a degree of membership equal to **zero**.

The fuzzification process, as shown above, is also applied for the crisp values of the other variables, yielding degrees of membership that will be evaluated by the system rules.

**2<sup>nd</sup> Step:** The activated rules are fed with the degrees of membership in the 1<sup>st</sup> step. A rule will be not activated if any of its antecedents holds a zero degree. This occurs because the antecedents are logically connected by **AND** operators. With the input crisp values previously

listed and the respective degrees of membership, the following rules are activated, from the group of 49 system rules: R26, R40, R41 and R47. Just to illustrate, the rule **R26** was activated as following (figure 2):

R26:	CDM*
<b>IF</b> Degree of Acceptance <b>is</b> Medium High <b>AND</b>	<b>(0.82)</b>
Power of Opposition Leadership <b>is</b> Weak <b>AND</b>	<b>(1.0)</b>
Administrative Excellence Factor <b>is</b> Medium High	<b>(0.13)</b>
<b>THEN</b> Reelection Chance <b>is</b> High	
* Calculated Degree of Membership for the fuzzy sets of each linguistic variable	

Figure 2: Activation of a Rule

**3<sup>rd</sup> Step:** According to the composition method “MAX-MIN”, the degree of membership in the set **High** for the linguistic output variable **Reelection Chances**, considering rule R26, will be equal to **0.13** (Figure 3). In others words, the lowest degree of membership is selected.

R26:

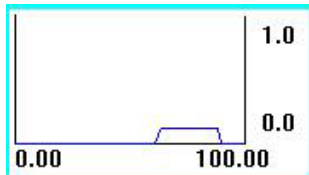


Figure 3: Fuzzy Output for the set High

For the other three rules activated, the same process is executed, yielding the following activation values: **R40= 0.13**, **R41= 0.18** and **R47= 0.82**. Figure 4 shows the rules activated in this example.

<b>R26:</b>	<b>IF</b> Degree of Acceptance <b>is</b> Medium High <b>AND</b> Power of Opposition Leadership <b>is</b> Weak <b>AND</b> Administrative Excellence Factor <b>is</b> Medium High <b>THEN</b> Reelection Chances <b>is</b> High
<b>R40:</b>	<b>IF</b> Degree of Acceptance <b>is</b> High <b>AND</b> Power of Opposition Leadership <b>is</b> Weak <b>AND</b> Administrative Excellence Factor <b>is</b> Medium High <b>THEN</b> Reelection Chances <b>is</b> Very High
<b>R41:</b>	<b>IF</b> Degree of Acceptance <b>is</b> High <b>AND</b> Power of Opposition Leadership <b>is</b> Weak <b>AND</b> Administrative Excellence Factor <b>is</b> High <b>THEN</b> Reelection Chances <b>is</b> Very High
<b>R47:</b>	<b>IF</b> Degree of Acceptance <b>is</b> Medium High <b>AND</b> Power of Opposition Leadership <b>is</b> Weak <b>AND</b> Administrative Excellence Factor <b>is</b> High <b>THEN</b> Reelection Chances <b>is</b> Very High

Figure 4: Activated Rules for the Example

**4<sup>th</sup> Step:** Still applying the “MAX-MIN” method, the greatest value of membership among the rules that have

the same consequent is selected. Proceeding with the example, rule **R26** deals with the possibility of **High Reelection Chances**, while rules **R40**, **R41** and **R47** have in their consequent **Very High Reelection Chances**. With the values obtained for each rule, and using the “MAX-MIN” method, one finds a degree of membership 0.13 in the set *High* of **Reelection Chances** and 0.82 (the *MAX* value) in the set *Very High*.

**5<sup>th</sup> Step:** This last step accomplishes the Defuzzification process. The values obtained as degrees of membership in the sets of the output linguistic variable **Reelection Chances** are now converted into one unique crisp final value. The method used in the system is the *Center of Gravity* (COG).

In COG the center of gravity of the areas of the truncated output sets is calculated, according to the respective rule strengths obtained in the previous step. This process generates a point on the horizontal axis, which corresponds to the final crisp output of the system. Figure 5 shows the final result using the COG defuzzification method.

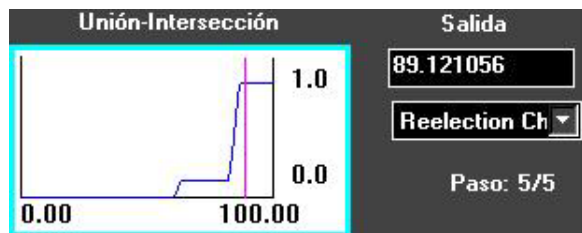


Figure 5: Defuzzification with COG method

Others defuzzification methods are available, such as *Medium of Max* and *Last Max* [6], which produce similar results comparing to COG, without significant modifications in the final crisp value. The final numerical output for the example was **89.12%**, which clearly indicates that the reelection chances to that candidate will be very good, considering the original input data. The analysis in the magazine, for this candidate, matches the system conclusion, thereby corroborating the evaluation accomplished by the expert system. The candidate name was intentionally omitted to avoid any kind of party or personal link.

Further experimentation was made with different candidates evaluated in the magazine survey. The results generated by the system were very similar to the expert conclusions, both for the candidates with good and small or medium reelection chances. The expert that helped in the construction of the system hereby presented also agreed with the merit of the answers provided by the system, which, though, is not infallible. Others unexpected factors can influence the succession process in a short time, like a late discovery of some important administrative malpractice. In this case, a new opinion poll must be performed and the new results reexamined by the system. Also the observation of a

new factor crucial to reelection, identified by experts, implies in a modification of the system, with the inclusion of new variables or even through the modification of rules.

## V - Conclusions and Future Work

The purpose of this project was the development of an expert system as described in the previous sections. The quality of the predictions regarding the reelection chances of the candidates, indicates the feasibility of using CI tools, specifically Fuzzy Logic and Expert Systems in social sciences. Areas like Medicine, Engineering and Economy, have been employing expert systems since a long time.

The intention of using FL in political problems evolved after noticing that political scientists make their analysis based on UNCERTAINTY and IMPRECISION, which are also the fundamentals of Fuzzy Sets theory. Thus, it seemed natural and adequate to apply Fuzzy to this realm.

The prediction of electoral chances, as well as many other aspects of politics that can be tackled in the future with the current approach, are certainly not only a product of simple “futurology” or a monopoly of secluded expert knowledge. It is hoped that the ideas presented in this work might be a contribution for the constant political science development, also showing a possibility of mathematical modeling, since the experts work with a reasoning based on logic.

A list of some actions probably could improve the conclusions supplied by the expert system, but not directly related to the exactness in the crisp values that defines the candidate reelection chances. The objectives of those improvements are offering good conclusions even when the method is utilized in different regions or electoral situations.

- Inclusion of other variables proposed by the experts, such as: *performance of a candidate to reelection in a simulated voting and the popular acceptance of a candidate party*.
- Selection of the best rules and tune up of the membership functions with Genetic Algorithms.
- Use of other defuzzification methods.
- Investigation of alternative forms of the inference engine, more precisely regarding the kinds of T-Norms and T-Conorms that are more adequate to this application (testing compensatory operators like *product* or  $\gamma$ -operator).

As an important test for the system validation, it was verified, for the candidates previously evaluated by the system, how many candidates running for mayor in the State of Santa Catarina, Brazil, confirmed or not the predictions made after the election that happened on 1<sup>st</sup>

October 2000. The official results again corroborated the system predictions, since they showed to be correct in almost all the cases.

## References

- [1] Zadeh L., *Fuzzy Sets*, Information and Control, 8, 1965, pp. 338-359.
- [2] Alcalde L., Rodrigues M., *Pesquisa ISTOÉ-BRASMARKE: Avaliação dos Prefeitos*, Revista ISTOÉ, 1590, Ed. Três, São Paulo, 2000 (in Portuguese).
- [3] Huntington S., *A Terceira Onda: a democratização no final do século XX*, Ed. Ática, São Paulo, 1994 (in Portuguese)
- [4] Silveira F., *A Decisão do Voto no Brasil*, Ed. EDIPUCRS, Porto Alegre, 1998 (in Portuguese).
- [5] Sugeno M., *An introductory survey of fuzzy control*. Information Science, 36, 1985, pp. 59-83.
- [6] Kasabov N., *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*, Kluwer Academic, Boston, 1996.
- [7] Deboeck G., *Trading on the Edge*, Addison-Wesley, 1994.
- [8] Zimmermann H., *Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems*, Kluwer Academic, Boston, 1987.
- [9] Duarte O., *Sistema de Lógica Difusa – UNFUZZY 1.1*, Universidad Nacional de Colombia, 1998.
- [10] Klir G., Yuan B., *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice Hall, USA, 1995.

## Fuzzy Sets in Political Science

Gleiber Fernandes Royes, M.Sc.  
Universidade Federal de Santa Catarina – CPGCC  
Florianópolis - SC – Brazil  
gleiber@prsc.mpf.gov.br

Rogério Cid Bastos, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina – CPGCC  
Florianópolis - SC – Brazil  
rogerio@reitoria.ufsc.br

### Abstract

Several computational intelligence (CI) paradigms have been popularized by their broad use in industry. The practical value of these techniques is seldom questioned in traditional areas like engineering and medicine. However, there are other fields still waiting to be better explored. Relatively new paradigms in CI that can deal with uncertainty has facilitated the construction of advanced expert systems. Treating uncertainty with Fuzzy Logic (FL) in politics is an exercise that may demonstrate a promising use of expert systems, opposing to the idea that vagueness is a source of great complexity, only approachable by human experts. The paper will explore the applicability of FL for politics via a practical experiment, that also will be useful to discuss some important details about implementation. The area known as social science, which for a long time has been held in reserve for human specialists, can now be aided by intelligent systems regarding decision making.

### 1. Introduction

The application of CI tools in problem resolution has been showing a strong growth. But some obstacles are still present. These expert systems, in areas as medicine and economy, act as allies to professionals, supporting diagnosis and helping in decision making. Relatively recent paradigms, like Fuzzy Sets Theory [17], Neural Networks and Evolutionary Computation, have greatly contributed to CI maturity.

This work emphasizes an uncommon use of CI, since it deals with an area that is not often tackled by researchers. At the vast spectrum of social sciences, one that stands out and involves the appreciation of experimented experts is **politics**. The analysis in this area involves the consideration of several complex variables, many of them obtained from opinion surveys. The use of CI in social sciences securely delayed because of the absence of appropriate tools that could simulate expert reasoning in this domain. In politics, conclusions are based on theses and the statements are extremely vague and imprecise. Therefore, a method that can represent correctly this vagueness is essential to design a robust system. To deal with imprecision, FL has been showing a vast applicability. The imprecise form of reasoning

employed in FL can naturally summarize the reasoning practiced by political scientists. For example, it is highly improbable that an expert in politics would make an affirmative like this:

*“If the Popular Acceptance Level of candidate C is equal to 0.74 and the Level of Satisfaction with his current administration is equal to 0.83 and the Power of the Opposition Leaderships is equal to 0.26, then the chance of reelection will be equal to 0.92.”*

The kind of reasoning more common and appropriate certainly would be:

*“If the Popular Acceptance Level of candidate C is high and the Level of Satisfaction with his current administration is high and the Power of the Opposition Leaderships is weak then the reelection chances will be high.”*

Fuzzy Logic makes it possible to implement the second reasoning form computationally, representing the language used in politics in a realistic way. This confers to the final model, presented at the end of this work, a greater credibility and also an answer closer to actual expectations. Another benefit in using FL in this domain is the fact that it is easy to explain the system results. Thus, it is possible to inexperienced scientists to understand the process of reasoning.

The main purpose of this work is to demonstrate the feasibility of building an expert system that can assist in the political decision making process. The final system result corresponds to “**the reelection chances** of a current president, governor or mayor”. Political scientists or marketing experts assess the electoral succession process basically using opinion surveys, which allow for the analyses of reelection possibilities. The system helps in this aspect of decision making: “**Campaign for reelection or not?**”. The system was basically defined by an opinion sampling [1] and also via successive meetings with an expert in politics.

The subsequent sections of this work are organized as follows: 2 – Related Work, 3 – Politics Overview, 4 – Fuzzy Logic and Politics, 5 – The Proposed Expert system (with some discussions about aspects of implementation) and 6 –Conclusions and Future Work.

### 2. Related Work

Some applications emphasize the use of FL in social sciences, even if not specifically in political field. The

extensive human intervention in social area and the natural kind of human reasoning lead FL for application in social sciences. Smithson [13] explores the use of FL in Psychology, not only in a specific detail, but in several aspects as perception and memory theories, to extend conventional rating scales, to solve measurement problems and to qualitative data analysis. These only present some of the incursions in Psychology. Another authors, recognizably, have also applied Fuzzy for Psychology, as the facial emotion recognizer presented by Russell [10]. Still in social field, it is important stands out the Dimitrov's [4] work. Dimitrov defends the application of FL to deal with the paradoxical and chaotic nature of social systems. This Fuzzy system, based on rules, helps in deal with opposite opinions, permitting the searching of an acceptable consensus. Some details, as the system variables and the construction of rules, can be found in [4]. Still not exhausting the specter of social applications, the Yamashita's [16] study presents a useful Fuzzy system in the context of decision aid. Students can be helped by the system in career choice. After the Fuzzy reasoning applied on the input values supplied by the student, the system acts as a kind of vocational guidance.

In spite of the efforts and the practical utility of these applications, still much more can be explored to reach the maturity of FL in social area.

### 3. Politics Overview

Along history, the possibility of foreseeing the future has been a constant aspiration of mankind and the object of study of many authors and researchers. In social sciences, especially in politics, it is common sense that it is difficult to make exact prognostics, on account of the high degree of variability of the human factor that participates at all moments in the process.

In political science, the research on the prediction of human behavior has been growing since the 1950's, especially regarding electoral opinion: the vote. In the last fifty years, political scientists have been cautious in the task of understanding electoral behavior and of identifying the real elements that can explain how an individual make an option between one or another candidate, between one or another party. Several theories have been formulated trying to identify the characteristics of the electoral choice process.

Within this perspective, several phenomena like party support, the influence of social-economic factors and the empathy with individual candidates have been the object of systematic study. In fact, more recent research has polarized the discussion about electoral behavior. One theory affirms that the elector is essentially rational [2](*rational choice theory*). This means that an elector prefers one candidate to another

in accordance with the possibilities of the candidate to satisfy some of his individual necessities or some of his group necessities. Another theory advocates that the elector, mainly the less cultured majority, is not rational and could be influenced by factors of emotional and affective nature. In accordance with Silveira [12], the elector "... gets the information about the candidate and the electoral dispute through the media, and associates, guided by an instinctive combination, the information captured with a frame of symbolic and valuable reference ... when this information about the candidate is similar with the frame characteristics... , the elector makes his choice."

In spite of the different nature of the two theories mentioned, both agree about their main objective: anticipate, with some confidence, the results of an election. Even the theory that denies rationality in the electoral choice reveals important facets of the electoral behavior, providing aid on how to predict it.

### 4. Fuzzy Logic and Politics

The use of fuzzy sets in areas already traditional to CI has become a common practice, principally in the construction of Control Systems [14], Classifying [6], Diagnosis Systems [6] and Decision Making [3][18]. The success attained by FL in those areas certainly increases the interest of using it in less explored areas.

The fuzzy logic approach in social sciences tends to grow especially because it is an appropriate technique to represent the problems and their resolutions in the same manner that the experts in this area do. Social sciences differ from exact sciences because of their direct relations with human behavior. In the former, the intervening variables are not susceptible to objective measurement, and analytic mappings are usually unavailable. In Politics, an outstanding characteristic is that the reasoning is based on imprecise statements and vague concepts. To interpret the results of opinion pools, the knowledge of an expert is needed, who will weigh up, in an imprecise manner, the raw data. Imprecision, as stated here, should not be confused either with incorrectness or with unpredictability. Prediction is possible and the provision of correct conclusions is the basic objective.

In countries like Brazil, where the voting process has the involvement of many parties and alliances and where the rational elector is not the majority, the analysis of electoral chances can be a complex task. In another countries, where the process seems not so intricate, the proposed system can be still more useful.

In politics, precision is not so important. For example, the limit between a high or medium *Degree of Acceptance* attributed to a politician is imprecise. In another words, is it possible to say that a *Degree of Acceptance* of 90% will be certainly considered high,



while a degree of 75% will be considered medium? To take into account this kind of uncertainty, the universe of discourse of each variable in the problem is divided into various fuzzy sets, which may overlap and form ambiguous regions. For instance, the variable *Degree of Acceptance* could be described as follows (Table 1):

Degree of Acceptance Domain (%)	Fuzzy Set (Linguistic Value)
0 - 30	Low
20-50	Medium Low
40-70	Medium
60-85	Medium High
75-100	High

Table 1: Description of a variable with Fuzzy Sets

A membership function translates crisp values of the variable *Degree of Acceptance* into “degrees of membership” in each one of the sets defined for the variable. In this way, according to the functions, the value 84% could be fuzzified, yielding a degree of membership of **0.2** in the set **Medium High** and, at the same time, **0.9** in **High**. Thus, it is possible to conclude that 84% belongs more to set **High** than to **Medium High**. An expert in politics would certainly make a similar reasoning, considering that 84% can be assessed as **High**, but he will concede that it can be also considered **Medium High**. This ambiguity still can yield coherent and reliable conclusions in politics.

The fuzzy system to be presented in this paper aims the capture of the subjective reasoning process employed by politics experts in a natural form. To reach the conclusions, rules that were defined with the expert direct help will be applied, along with some uncertainty principles (see next section).

## 5. The Expert System

The reelection possibility of a present president, governor or mayor, has always been a major target of experts and scientists, who try to ponder a set of factors, usually obtained through opinion polls. The expert knowledge and the survey analysis lead to convincing predictions about the reelection chances.

The system output will be useful to help a candidate on deciding to “run or not for reelection”. The underlying idea is to supply another “opinion”, completely free from personal beliefs, external pressures or even some biased circumstances of a particular political situation. It would be also useful when the direct expert assistance becomes impracticable.

The platform used to build the expert system was the shell UNFUZZY [5].

### 5.1 The linguistic variables and universes of discourse

Certainly, there exists a vast list of variables that can influence the possibility of a candidate reelection. In

the system only 3 variables were used, in accordance to the expert opinion and the survey which was used as initial inspiration. Those variables demonstrated to be decisive for the definition of the chances. The system works with the following linguistic variables:

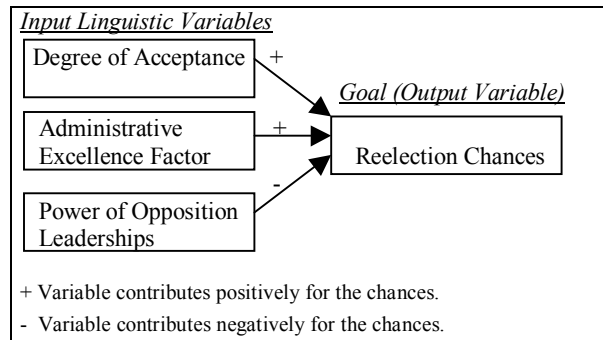


Figure 1: The Structure of Linguistic Variables

#### 1. Degree of Acceptance

The elector answers, in the survey, the question: “How do you classify the present candidate administration?”

The possible answers offered to this question are: **Excellent, Good, Regular Positive, Regular, Regular Negative, Bad and Very Bad.**

The crisp value that is used as the input to this variable is obtained from the sum of the answers to the alternatives. This variable classifies the merit of the current administration.

#### 2. Administrative Excellence Factor

The value of this variable is provided through the weighted sum of the responses obtained in the previous question. It is calculated as follows:

$$AEF = 4 * \text{Excellent} + 3 * \text{Good} + 2 * \text{Regular+} + \text{Regular} + (-2) * \text{Regular-} + (-3) * \text{Bad} + (-4) * \text{Very Bad}$$

The minimum value will be -400, when all people answer *Very Bad* to previous question, and the maximum will be 400 when all answer *Excellent*.

The purpose of this variable is to refine the results obtained by the answers to the first question. To avoid possible statistical distortions, more importance is given to extreme answers like **Very Bad** or **Excellent**.

#### 3. Power of Opposition Leaderships

The value of this variable is also estimated by the poll results. It is related to the opposition candidates to the reelection and the power that they represent. Though an input crisp value is necessary, what matters is to classify the power of the opposition leadership as:

**Strong:** Indicates that the prospective candidates represent a serious obstacle to the reelection.

**Medium:** Indicates that the candidates can represent some impediment to reelection.

**Weak:** Opposition candidates do not represent danger to reelection.

As example, candidates with *high* values for *Degree of Acceptance* and *Administrative Excellence Factor*, presenting a *Strong* value to *Power of Opposition Leaderships*, they will have smaller chances than they would have *weak* opponents. This variable will work as a conclusion counterbalance.

The expert identified other possible input variables. Two of them can be considered in a future refinement:

- Popular degree of acceptance of the candidate party and
- The elector profile: this variable can make the system more adaptable to use in different places and electoral situations.

The output variable consolidates the analysis performed by the system. The crisp result (after the defuzzification) provides the chances of a candidate.

For all variables, the respective universes of discourse were defined and also its linguistic values. Those sets were specified with the expert assistance. The reasoning employed by the expert to define the sets, as presented in Table 1, highlights the imprecision nature of the problem. Table 2 presents the details:

Linguistic Variable	Universe of Discourse	Fuzzy Sets
Degree of Acceptance	[0, 100]	Low, Medium Low, Medium, Medium High and High
Administrative Excellence Factor	[-400, 400]	Low, Medium Low, Medium, Medium High and High
Power of Opposition Leaderships	[0, 100]	Weak, Medium and Strong
Reelection Chances	[0%, 100 %]	Very Low, Low, Medium, High and Very High

Table 2: Linguistic Variables and their respective Universes of Discourse and Fuzzy Sets Partitions

### 5.2 The Membership Functions

The membership functions [7] must be defined in a way that may appropriately reflect the changes in the degree of membership in each set, associated with changes in the crisp value. The membership functions selected for almost all sets are basically combinations of functions type **S** and **Z**. Figure 2 illustrates the functions for the fuzzy sets pertaining to the variable *Degree of Acceptance*:

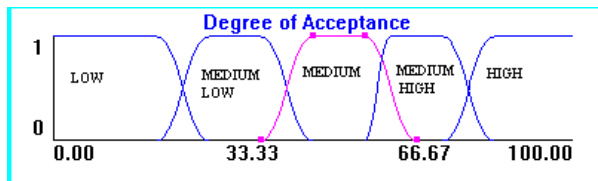


Figure 2: Membership Functions

- portion to the left from the nucleus: function type **S**
- nucleus (degree of membership = 1)
- portion to the right of nucleus: function type **Z**

These functions have been chosen because they present a gradual change in the degrees of membership, similar to the interpretation of the expert.

The analysis of membership functions is usually more empirical that based in a sophisticated mathematical thesis [18]. The empirical analysis was made with the expert help. Trapezoidal functions were also assessed with some candidate cases to verify which kind of function could present more satisfactory results. The results regarding to the “chances”, using trapezoidal functions, in general also agreed with the expert opinion, however, in some cases, the functions **S** and **Z** showed closer to the expectations. As illustration, in the example to be presented below, the chances are 85.88% using trapezoidal and 89.12% using **S** and **Z**. In spite of the difference is not so significant, the *Very High* chances are emphasized in the second case.

### 5.3 A Complete Example

The following example illustrates all the system inference process. The values shown bellow refer to the indexes obtained for one of the possible candidates to reelection that was investigated by a magazine:

**Degree of Acceptance = 78.0**  
**Administrative Excellence Factor = 137.4**  
**Power of Opposition Leaderships = 20**

The value **20** for *Power of Opposition Leaderships* refers to the information contained in the magazine that detects the existence of *weak* opposition. The other two values were collected directly from the text.

To examine the process in more detail, the system option *Step by Step* will be used. Thus it will be possible to visualize in detail each one of the stages.

**1<sup>st</sup> Step:** The 1<sup>st</sup> step corresponds to the fuzzification process. The input crisp values are transformed into degrees of membership in the defined fuzzy sets. In the example above, a **Degree of Acceptance = 78.0** yields the following degrees of membership:

- In the **Medium High** set, the value 78.0 is inside the set limits (60 to 85) and therefore it has a degree of membership in this set. According to the function previously defined for this set, this value will be applied to a **Z** function, resulting: *Medium\_High\_Degree = 0.82*
- In the **High** set, the value 78.0 will be applied to a **S** function, resulting: *High\_Degree = 0.18*
- For the others fuzzy sets, the value 78.0 results in a degree of membership equal to **zero**.

The process, as shown above, is also applied for the crisp values of the other variables, yielding degrees of membership that will be evaluated by the system rules.

**2<sup>nd</sup> Step:** The rules are fed with the degrees of membership obtained in the 1<sup>st</sup> step. With the calculated degrees of membership, the following rules are activated, from the group of 49 system rules: R26, R40, R41 and R47. Just to illustrate, the rule **R26** was activated as following (figure 3):

R26:	CDM*
<b>IF</b> Degree of Acceptance <b>is</b> Medium High <b>AND</b>	<b>(0.82)</b>
Power of Opposition Leadership <b>is</b> Weak <b>AND</b>	<b>(1.0)</b>
Administrative Excellence Factor <b>is</b> Medium High	<b>(0.13)</b>
<b>THEN</b> Reelection Chance <b>is</b> High	
* Calculated Degree of Membership for the fuzzy sets of each linguistic variable	

Figure 3: Activation of a Rule

**3<sup>rd</sup> Step:** According to the composition method “MAX-MIN”, the degree of membership in the set **High** for the output variable **Reelection Chances**, considering rule R26, will be equal to **0.13**. In others words, the lowest degree of membership is selected.

For the other three rules activated, the same process is executed, yielding the following values: **R40= 0.13**, **R41= 0.18** and **R47= 0.82**. (see rules in Figure 4)

<b>R26:</b>	<b>IF</b> Degree of Acceptance <b>is</b> Medium High <b>AND</b> Power of Opposition Leadership <b>is</b> Weak <b>AND</b> Administrative Excellence Factor <b>is</b> Medium High <b>THEN</b> Reelection Chances <b>is</b> High
<b>R40:</b>	<b>IF</b> Degree of Acceptance <b>is</b> High <b>AND</b> Power of Opposition Leadership <b>is</b> Weak <b>AND</b> Administrative Excellence Factor <b>is</b> Medium High <b>THEN</b> Reelection Chances <b>is</b> Very High
<b>R41:</b>	<b>IF</b> Degree of Acceptance <b>is</b> High <b>AND</b> Power of Opposition Leadership <b>is</b> Weak <b>AND</b> Administrative Excellence Factor <b>is</b> High <b>THEN</b> Reelection Chances <b>is</b> Very High
<b>R47:</b>	<b>IF</b> Degree of Acceptance <b>is</b> Medium High <b>AND</b> Power of Opposition Leadership <b>is</b> Weak <b>AND</b> Administrative Excellence Factor <b>is</b> High <b>THEN</b> Reelection Chances <b>is</b> Very High

Figure 4: Activated Rules for the Example

**4<sup>th</sup> Step:** Still applying the “MAX-MIN”, the greatest value of membership among the rules that have the same consequent is selected. Proceeding with the example, rule **R26** deals with the possibility of **High Reelection Chances**, while rules **R40**, **R41** and **R47** have in their consequent **Very High Reelection Chances**. With the values obtained for each rule, one finds a degree of membership 0.13 in the set *High* of **Reelection Chances** and 0.82 in the set *Very High*.

**5<sup>th</sup> Step:** This corresponds to the Defuzzification process [7]. The values obtained as degrees of

membership in the sets of the output variable are now converted into one unique crisp final value.

It is important to emphasize that the defuzzification process is not obligatory. However, the coherence indicates that a final crisp value can be demanded for analysis, since the system input values are also crisp.

The first method evaluated was the *Center of Gravity* (COG). In COG the center of gravity of the areas of the truncated output sets is calculated, according to the respective rule strengths obtained in the previous step. Figure 5 shows the final result using the COG method.

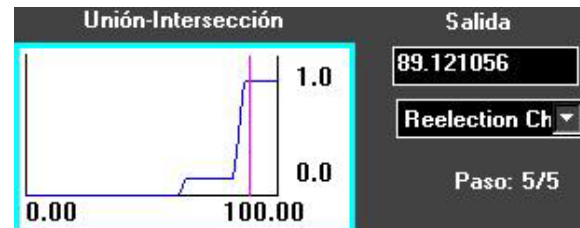


Figure 5: Defuzzification with COG method

Another defuzzification methods were assessed. One of them was the *Middle of Maxima* (MOM). In spite of the difference has not been so significant comparing to *COG*, the *MOM* has showed more effective and closer to the expert opinion. The *MOM* also has showed more stable when a distinct kind of membership function was tested. These evidences corroborate what some authors [9] have demonstrated about the quality of this method in decision making.

The final output for the example was **89.12%** using the *COG* and **93.79%** using the *MOM*, which clearly indicates the very good chances of this candidate. The analysis in the magazine, for this candidate, matches the system conclusion, thereby corroborating the evaluation accomplished by the expert system.

#### 5.4 The Aggregation Operators

Another experience was the alteration of the aggregation operators used in the system. In the example presented before, the classes of T-Norms and T-Conorms operators were respectively MIN and MAX. These operators work as not-compensatory. The compensatory[8] capability some times can be very useful, principally in human decision making applications [11]. Using the example of politics, a higher degree for the *Degree of Acceptance* could soften a lower value for the *Administrative Excellence Factor*. One compensatory operator was used for the analysis of the influence in the solution quality. The operator proposed by Werners[15] is a variation of the “ $\gamma$ -operator” presented by Zimmermann[18]. The “ $\gamma$ ” is used to graduate the level of desired compensation. The aggregation operators formulas present, respectively, combinations of MIN with arithmetic mean and MAX with arithmetic mean:

$$\mu_{and} = \gamma \min_i(\mu_i) + (1 - \gamma) \left( \sum_i \mu_i \right) / m,$$

$$\mu_{or} = \gamma \max_i(\mu_i) + (1 - \gamma) \left( \sum_i \mu_i \right) / m$$

$$\gamma \in [0,1]$$

represents the compensation degree to be used (lower values indicate higher degrees of compensation) and

$$\mu_i \in [0,1]$$

represents the membership degree in each one of the sets ( $i=1,2,\dots,m$ ) to be aggregated.

Using the aggregation operators proposed by Werners, with  $\gamma=0.7$  for AND and OR as example, the final crisp value, for the previous case, will be equal to 93,16% to the chances, preserving the very high reelection chances. Another important benefit when applying that kind of compensatory operator refers to the possibility of graduate its intensity according to the exigencies.

### 5.5 Discussion Summary

As a summary of the investigation, one satisfactory combination for the problem presented here could be:

- Membership Functions: Combinations of S and Z;
- Aggregation Operators: Compensatory and
- Defuzzification method: *MOM*.

### 6. Conclusions and Future Work

The quality of the predictions regarding the reelection chances of the candidates, indicates the feasibility of using FL in political science. It is hoped that the ideas presented in this work might be a good contribution, showing a possibility of mathematical modeling in some aspects of politics, since the experts work with a reasoning based on logic. .

Further experimentation was made with different candidates evaluated in the magazine survey. The results generated by the system were very similar to the expert conclusions, both for the candidates with good, small or medium reelection chances. A practical test was also realized with candidates running for mayor in the State of Santa Catarina, Brazil, on October 2000 and the official results again corroborated the previous system predictions.

One of the possible system improvements could be the addition of a new variable in the system: *the elector profile*. This *profile* could make the system more adaptable to different regions and situations, since the kind of elector (more rational or not) will be identified.

The expert system showed in this paper was utilized as an example. In a future work it is intended to expand this idea via a platform, which will permit simulate distinct situations in political decision making.

### 7. References

- [1] L. Alcalde, M. Rodrigues, "Pesquisa ISTOÉ: Avaliação dos Prefeitos", *Revista ISTOÉ*, Vol. 1590, Ed. Três, São Paulo, 2000. (in Portuguese)
- [2] R. Dalton, M. Wattenberg, *The Not So Simple Act of Voting*, in FINIFTER, Ada (Ed.) State of Political Science II, American Political Science Association, Washington, 1993.
- [3] G. Deboeck, *Trading on the Edge*, Addison-Wesley, 1994.
- [4] V. Dimitrov, "Use of Fuzzy Logic when Dealing with Social Complexity", *Complexity International*, Vol. 04, 1997.
- [5] O. Duarte, *Sistema de Lógica Difusa – UNFUZZY 1.1*, Universidad Nacional de Colombia, 1998.
- [6] N. Kasabov, *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*, Kluwer Academic, Boston, 1996.
- [7] G. Klir, B. Yuan, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice Hall, USA, 1995.
- [8] A. Kolesárová, M. Komorníková, "Triangular norm-based iterative compensatory operators", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 104, 1999, pp 109-120.
- [9] W. Leekwijck, E. Kerre, "Defuzzification: criteria and classification", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 108, 1999, pp 159-178.
- [10] J. Russell, M. Bullock, (1986). "Fuzzy concepts and the perception of emotion in facial expressions", *Social-Cognition*, Vol. 4, 1986, pp 309-341.
- [11] T. Shih, E. Lee, "Compensatory fuzzy multiple level decision making", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 114, 2000, pp 71-87.
- [12] F. Silveira, *A Decisão do Voto no Brasil*, Ed. EDIPUCRS, Porto Alegre, 1998. (in Portuguese)
- [13] M. J. Smithson, G. Oden, *Fuzzy set theory and applications in psychology*, in D. Dubois & H. Prade (Eds.), International Handbook of Fuzzy Sets and Possibility Theory, Vol. 5, Kluwer, Amsterdam, 1999.
- [14] M. Sugeno, "An introductory survey of fuzzy control", *Information Science*, Vol. 36, 1985, pp 59-83.
- [15] B. Werners, *Aggregation Models in mathematical programming*, in G. Mitra (Ed.), Mathematical Models for Decision Support, Springer, 1988, pp 295-395.
- [16] T. Yamashita, "On a support system for human decision making by the combination of fuzzy reasoning and fuzzy structural modeling", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 87, 1997, pp 257-263.
- [17] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets", *Information and Control*, Vol. 8, 1965, pp 338-359.
- [18] H. Zimmermann, *Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems*, Kluwer Academic, Boston, 1987.

# Fuzzy MCDM in Election Prediction

Gleiber Fernandes Royes, Rogério Cid Bastos

Universidade Federal de Santa Catarina – CPGCC (Florianópolis - SC – Brazil)  
gleiber@prsc.mpf.gov.br, rogerio@reitoria.ufsc.br

## Abstract

The application of Fuzzy Logic (FL) in traditional fields like engineering, medicine or finance has become a common practice, however in social sciences, mainly in politics, the utilization of FL can be intensely explored. Joining fuzzy with multiple criteria decision making (MCDM), the natural complex and uncertain criteria of political problems can be adequately treated. The practical result of the research is a computational system to election forecasting.

## Keywords

Fuzzy Logic, Linguistic Terms, MCDM, Political Application.

## 1. Introduction

The main idea of FL [15] in politics resides in the fact that the political expert reasoning is strongly based on vague and uncertain statements, so common in the social field. The reasoning employed in politics is not exact as:

“ The popular acceptance of candidate  $C$  is equal to 0.86 and his party acceptance is equal to 0.94 so the election chances of candidate  $C$  will be equal to 0.92.”

However, the natural subjective reasoning form certainly would be:

“ The popular acceptance of candidate  $C$  is high and his party acceptance is high so the election chances of candidate  $C$  will be strong .”

Fuzzy Logic makes it possible to implement the second reasoning form computationally, representing the language used in politics in a realistic way. Therefore, fuzzy permits the qualitative and subjective analysis.

The objective of this work is to explore a new possibility of deal with the vagueness present in political analysis, using as target a crucial and complex task: “**predict, with reasonable accuracy, probable winners of elections**”. This kind of prediction can be done before the campaign, to support the analysis of the adequate candidate for a

party, or can be done during the campaign to adjust some details conform the current results. Another important advantage of an intelligent decision system is supplying another “opinion”, completely free from personal beliefs, extern pressures or even some biased circumstances of a particular political situation. The election forecasting is not an easy task and normally demands the examination of many, and usually not numerical, aspects.

For the election prediction, a group of fundamental subjective variables were defined with the expert assistance and also with the support of some relevant literature [4,8,10] about political analysis. These variables are treated as criteria in a Fuzzy Multiple Criteria Decision (MCDM) system [16]. MCDM has been used as an important technique in several problems where the final conclusion depends of complex evaluation factors. Some important works in Fuzzy MCDM, in very distinct fields, can be seen in [2,3,5]. In the system proposed here, the candidates are represented as alternatives that will be assessed in accordance with each initial criterion. Thus it is possible to combine the competence of fuzzy in deal with subjectivity and uncertainty with the capacity of multiple criteria in help decision making, ranking the group of alternatives, when many and complex qualitative factors are present.

The next section is dedicated to comment some works that are related to the aspect of applying fuzzy in the context of the social field and also statistical works related to election forecasting. Section 3 details the problem of election prediction and also specify the suggested solution. In section 4 are presented the MCDM rating and ranking techniques applied to produce the expected results. Next, section 5 is used to exhibit a short practical example, demonstrating all the process. Finally, section 6 shows the conclusions and the possible increments for future works.

## 2. Related Works

One of the most important targets of this paper is to present a new application (not conventional) of Fuzzy MCDM. A previous work [11] presents the possibilities of applying a fuzzy rule-based system in

politics, but in a distinct aspect: **the reelection chances** of a current president, governor or mayor. The good results obtained in the practical use of that previous work stimulated the new research which is introduced here. Fuzzy MCDM seems to be more adequate to the new proposed problem, comparing with a rule based system, since are suggested several complex criteria and distinct candidates that must be ranked. The works applying FL to politics restrict to these two contributions, however the application of FL in social sciences, but not joined with MCDM, can be observed in some publications of Smithson [12], that explores the FL uses in Psychology in aspects as: perception and memory theories, to solve measurement problems and to qualitative data analysis.

Remaining in the social field, it is important stands out the Dimitrov's [6] work. Dimitrov defends the application of FL to deal with the paradoxical and chaotic nature of social systems. This Fuzzy system, based on rules, helps in deal with opposite opinions, permitting the searching of an acceptable consensus. Even not exhausting the specter of social applications, the Yamashita's [13] study presents a helpful Fuzzy system in the context of decision aid, using also a reasoning mechanism based on rules. Students can be helped by the system in career choice. After the fuzzy reasoning applied on the input values supplied by the student, the system acts as a kind of vocational guidance.

The literature about the elector behavior, and more precisely about the election predictions, is vast [4,8] and numerous in models, but the fundamental tools for the great part of these theories are the statistical methods, that usually do not treat adequately the qualitative information. These models try to understand the voter behavior through equations obtained via mechanisms like linear regression [1]. The good results presented for this methods support its competence in election prediction. However, some difficulties can occur with the application of these statistical techniques. One important fact is that to generate the exact equations normally is necessary a vast amount of data, what is not customarily available. These equations are also usually constructed to evaluate one specific voting (are very restrictive). Therefore, a Fuzzy MCDM system is an alternative solution in this context.

### 3. The problem evaluation and the proposed solution

The fundamental problem is how to construct, starting from some important qualitative information, an intelligent system that can aid in the complex task of

election forecasting. The prediction of election results usually involves many complex criteria, that can be satisfactorily addressed by MCDM techniques. The goal is to present an initial solution that makes use of five basic criteria previously pointed out by experts and also emphasized in the vast literature. The alternatives  $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) represent the candidates, or probable candidates, that will run for the election. The subjective criteria  $C_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ) are used to evaluate the chances of each candidate. The performance assessment of each alternative (candidate) is made qualitatively via linguistic terms (see Table 1), which are more realistic and adequate in the context of politics than crisp values (this characteristic also simplify the direct input of the qualitative information). Each linguistic term is represented through a trapezoidal membership function (trapezoidal numbers can be denoted by  $(c,a,b,d)$  with  $-\infty \leq c \leq a \leq b \leq d \leq \infty$ ) that reflects the fuzziness existent in the problem and also corresponds to the experts evaluation about the adequate format of each fuzzy set. Table-1 shows the possible linguistic values applied for all initial criteria (the universe of discourse is normalized):

Linguistic Term	Trapezoidal Membership Function
Low (L)	(0,0,0.1,0.2)
Medium Low (ML)	(0.1,0.2,0.3,0.4)
Medium (M)	(0.3,0.45,0.55, 0.7)
Medium High (MH)	(0.6,0.7,0.8,0.9)
High (H)	(0.8,0.9,1,1)

Table – 1 The criteria linguistic terms (the universe of discourse is normalized in  $[0,1]$ )

Figure-1 represents, graphically, the membership functions of the criteria linguistic terms. With this representation it is easy to observe the vagueness and uncertainty present in the proposed political problem: there are fuzzy regions where clear distinctions between one or another term are not precise.

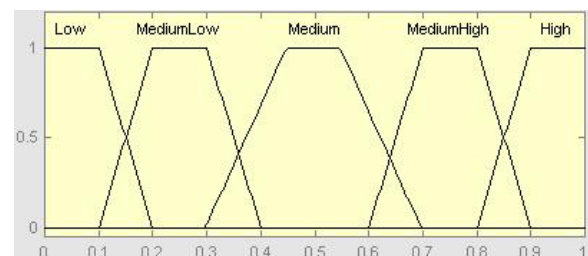


Figure –1 Membership functions for the criteria linguistic terms

The extensive political discussions about the most important variables are not definitive. Then, it is really difficult to define exactly which are the best criteria to be used. The initial list of criteria involves five fundamental items for the estimation of election



chances. It is important to emphasize that these criteria are only suggested as the main characteristics to be assessed, however the system permits the addition of new evaluation items and also the removing of some of the initial five criteria, in other words, the solution can be adopted to regional specific circumstances. For example, it is common in some places the voters make their choices based on the particular qualities of the candidates and not based on party identification. In this case, the item  $C_3$  could receive a low weight or same could be suppressed. The input data for the majority of criteria must be collected by available opinion pools. Below are listed these main criteria:

- $C_1$ : **Candidate party organization** in the specific region where the election will occur;
- $C_2$ : **Rejection rate** of the candidate;
- $C_3$ : **Popular identification** with the candidate party;
- $C_4$ : The candidate **personal quality** (competence, intelligence, morality, ...) and
- $C_5$ : The prevision of **investments in the candidate campaign** (media appearance, promotion of rallies and conventions, ...)

The way of how that criteria are combined and aggregated to produce the final position of each candidate is the central subject of the next section.

#### 4. Rating and ranking the alternatives

Two of the most important steps, using the MCDM technique, are basically [16]:

- The first is related to how to obtain the overall aggregated index for each one of the alternatives, given the initial input values for the criteria (the rating of alternatives). For the system here described are aggregated linguistic fuzzy values, and
- The second corresponds to the form of ranking the alternatives (the alternatives are classified in order of importance) .

To obtain the aggregating values of each alternative, first it is necessary evaluate the weight of importance relative to each criterion. The system default is selecting the same weight for the criteria, but the user can interactively modify it offering different values, forming a vector of weights  $\tilde{W}_n$  :

$$\tilde{W}_n = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$$

where each element  $\tilde{w}_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) corresponds to the respective criterion weight (the Decision Maker will use one of the fuzzy values defined in Table-2).

The scale for weights utilizes also linguistic terms (through trapezoidal fuzzy numbers) that are used to define qualitatively the importance of the criterion (see Table-2). The main reasoning of that solution applying fuzzy terms, instead of exact values, is once more the possibility of explore the natural qualitative reasoning employed in politics. An imprecise value as "Little Important" will be much more expressive and adequate to represent the importance of one criterion that a crisp value as 2 or 3. A numerical value, in this context, would be certainly interpreted as a limitation for a Decision Maker.

Linguistic Term	Trapezoidal Membership Function
Least Important	(0,0,0.1,0.2)
Little Important	(0.1,0.2,0.3,0.4)
Medium Important	(0.3,0.45,0.55, 0.7)
Important	(0.6,0.7,0.8,0.9)
Very Important	(0.8,0.9,1,1)

Table – 2 Membership functions for criteria weights

The rating of alternatives is presented in a Decision Matrix ( $\tilde{D}_{m \times n}$ ) (see matrix format below) where every element represents the respective fuzzy input value of each alternative relative to each criterion. These input fuzzy values are supplied by the Decision Maker (the system user).

$$\tilde{D}_{m \times n} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

where  $m$  is the number of alternatives and  $n$  is the number of criteria.  $\tilde{x}_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ ) represents one of the possible fuzzy numbers (linguistic input values) defined in Table-1.

In a second step, the weighted fuzzy matrix  $\tilde{V}_{m \times n}$  is constructed multiplying (multiplying of fuzzy numbers) the input trapezoidal fuzzy number of each alternative (the input rating of the alternative supplied by the Decision Maker) for the respective criterion weight (another trapezoidal fuzzy number):

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{x}_{ij} * \tilde{w}_j \quad (1)$$

With this matrix  $\tilde{V}_{m \times n}$  it is possible to pass to the next step that will permit obtain the aggregated rating values and after the ranking of alternatives.

Several methods to ranking the alternatives, and also to assess the relative importance of multi-criteria, are commented in the Fuller's work [7]. The adequate method depends of the necessities of the specific problem. For the election forecasting was applied the positive ( $A^+$ ) and negative-ideal ( $A^-$ ) concepts [3,9], since they have been suggested as a promising solution [3,9,14] when the problem uses directly fuzzy numbers. That solution is also not computer demanding. The positive and negative-ideal concepts represent the extremes between the better possible result for one hypothetical alternative and the worst possible result.

The best alternative (here, the winner candidate) will be that with the shortest distance to the positive ideal solution and, at the same time, with the longest distance to the negative ideal solution. The general forms of the positive and negative-ideal solutions vectors are:

$$A^+ = (\tilde{a}_1^+, \tilde{a}_2^+, \dots, \tilde{a}_n^+),$$

$$A^- = (\tilde{a}_1^-, \tilde{a}_2^-, \dots, \tilde{a}_n^-),$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Where each  $\tilde{a}_i^+$  and  $\tilde{a}_i^-$  represents a fuzzy number. In the solution here presented, a trapezoidal number.

In a posterior step, the distances of *Hamming* between each alternative to  $A^+$  and  $A^-$  are calculated:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^m (a_j^+ - \tilde{v}_{ij}), \quad (2)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^m (\tilde{v}_{ij} - a_j^-), \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

where  $n$  represents the number of alternatives to be compared with the best and worst solution and  $m$  is the number of criteria. Finally, a crisp *performance index*, the real final aggregated value for each alternative, is calculated:

$$P_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

The *performance index* is used to ranking the alternatives, in other words, the better alternative will be that one with the bigger index. Hence, a decreasing order can be easily formed. The next section will present a practical example, detailing the most important steps of the rating and ranking of the alternatives (candidates) in a real voting.

## 5. A Practical Example

This section is dedicated to present a real case of voting prediction. An already passed election will be the focus of the experiment, since will be possible to compare the system results with the real election outcomes. The election for mayor in one specific town of the state of Santa Catarina, Brazil, was the selected experience (that voting happened in October 2000). The necessary information to the criteria and also to the weights of criteria were collected using some opinion pools and also with the support of information provided by institutes as IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistic) and IBOPE (Brazilian Institute of Public Opinion and Statistic). Only information available before, or at the beginning of the election, were utilized. Frequently, exact values were not available as input values, which became primordial the system acceptance of linguistic terms. This system facility permits the correct representation of imprecise values.

The first task was verify if some new criterion could be relevant to that specific voting. The analysis of the local voter behavior (if they are more or less rational [10]) and profile pointed out to the employment of only the five standard criteria. The weights were also obtained through the examination of local voter behavior and via the available data about the local influence of the five factors. At this point is important make clear that the weights are imprecise estimations. The more accurate information are available about the weights, more the final ranking of alternatives would be correct.

Table 3 shows the respective weights selected for each one of the criteria ( $C_1, C_2, \dots, C_5$ ):

Weight	Linguistic Value
$w_1$	<b>MI</b> - Medium Important (0.3,0.45,0.55, 0.7)
$w_2$	<b>I</b> - Important (0.6,0.7,0.8,0.9)
$w_3$	<b>LI</b> - Little Important (0.1,0.2,0.3,0.4)
$w_4$	<b>VI</b> - Very Important (0.8,0.9,1,1)
$w_5$	<b>VI</b> - Very Important (0.8,0.9,1,1)

Table -3 Weights for each criteria

It is easy to verify that criteria  $C_2$  and  $C_4$ , directly related to the personal candidate evaluation, were pointed out as more important that criteria  $C_1$  and  $C_3$



related to the candidate party. This characteristic certainly emphasizes the general voter profile, more influenced by the candidate personal qualities than by the candidate ideological trends (usually a characteristic of less rational voters).

Using the available information, the initial Decision Matrix is constructed (see Table 4). The fuzzy input values represent the initial ratings of each candidate

for every one of the five criteria presented in the previous section. The number of candidates (in other words, the number of alternatives) who have run for that election was also equal to five. The names of candidates, and also the name of the town, were omitted to avoid any kind of political promotion.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
<i>Candidate-1</i>	L (0,0,0.1,0.2)	MH (0.6,0.7,0.8,0.9)	M (0.3,0.45,0.55, 0.7)	M (0.3,0.45,0.55, 0.7)	L (0,0,0.1,0.2)
<i>Candidate-2</i>	MH (0.6,0.7,0.8,0.9)	MH (0.6,0.7,0.8,0.9)	ML (0.1,0.2,0.3,0.4)	ML (0.1,0.2,0.3,0.4)	M (0.3,0.45,0.55, 0.7)
<i>Candidate-3</i>	ML (0.1,0.2,0.3,0.4)	M (0.3,0.45,0.55, 0.7)	M (0.3,0.45,0.55, 0.7)	MH (0.6,0.7,0.8,0.9)	ML (0.1,0.2,0.3,0.4)
<i>Candidate-4</i>	H (0.8,0.9,1,1)	ML (0.1,0.2,0.3,0.4)	MH (0.6,0.7,0.8,0.9)	H (0.8,0.9,1,1)	H (0.8,0.9,1,1)
<i>Candidate-5</i>	H (0.8,0.9,1,1)	MH (0.6,0.7,0.8,0.9)	ML (0.1,0.2,0.3,0.4)	ML (0.1,0.2,0.3,0.4)	M (0.3,0.45,0.55, 0.7)

Table – 4 The Decision Matrix ( $\tilde{D}_{5 \times 5}$ ) with the initial ratings

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
<i>Candidate-1</i>	(0,0,0.05,0.14)	(0.36,0.49,0.64,0.81)	(0.03,0.09,0.16,0.28)	(0.24,0.4,0.55,0.7)	(0,0,0.1,0.2)
<i>Candidate-2</i>	(0.18,0.31,0.44,0.63)	(0.36,0.49,0.64,0.81)	(0.01,0.04,0.09,0.16)	(0.08,0.18,0.3,0.4)	(0.24,0.4,0.55,0.7)
<i>Candidate-3</i>	(0.03,0.09,0.16,0.28)	(0.18,0.31,0.44,0.63)	(0.03,0.09,0.16,0.28)	(0.48,0.63,0.8,0.9)	(0.08,0.18,0.3,0.4)
<i>Candidate-4</i>	(0.24,0.4,0.55,0.7)	(0.06,0.14,0.24,0.36)	(0.06,0.14,0.24,0.36)	(0.64,0.81,1,1)	(0.64,0.81,1,1)
<i>Candidate-5</i>	(0.24,0.4,0.55,0.7)	(0.36,0.49,0.64,0.81)	(0.01,0.04,0.09,0.16)	(0.08,0.18,0.3,0.4)	(0.24,0.4,0.55,0.7)

Table – 5 The Weighted Matrix  $\tilde{V}_{5 \times 5}$

With the vector of weights properly determined and also with the rating of alternatives (candidates) carefully defined by the Decision Maker, the system can pass to the next step. Now, the ratings (fuzzy estimations) of each candidate, in the decision matrix, are multiplied by the respective criterion weights. Table-5 shows the *Weighted Matrix* constructed by the system using the formula (1).

The subsequent step uses the *Weighted Matrix* and positive and negative ideal solutions to calculate the distances between the ratings of each candidate and the ratings of a supposed ideal positive and negative candidate. The imaginary positive and negative ideal candidates are represented below (It is important to see that the unique group of zeros in the first vector represents the ideal candidate, whose rejection rate does not exist. The same interpretation is valid to the negative ideal candidate, whose group of one's represents the maximum rejection rate):

$$A^+ = ((1, 1, 1, 1), (0, 0, 0, 0), (1, 1, 1, 1), (1, 1, 1, 1), (1, 1, 1, 1)),$$

$$A^- = ((0, 0, 0, 0), (1, 1, 1, 1), (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0))$$

Applying equations (2) and (3), the distances ( $d_i^+$  and  $d_i^-$ ) of each candidate to the ideal positive and ideal negative candidate are calculated. Finally, the last step produces the ranking order of the candidates, using the performance index ( $P_i$ ), obtained through equation (4). Table-6 illustrates the distances and also the final ranking order of the five candidates.

	$d_i^+$	$d_i^-$	$P_i$	Ranking
<i>Candidate1</i>	15.37	4.64	0.23	<b>5</b>
<i>Candidate2</i>	13.59	6.41	0.32	<b>4</b>
<i>Candidate3</i>	12.67	7.33	0.37	<b>2</b>
<i>Candidate4</i>	7.21	12.79	0.64	<b>1</b>
<i>Candidate5</i>	13.25	6.74	0.34	<b>3</b>

Table – 6 The distances to positive and negative ideal solutions, the performance indexes, and the final ranking order.

The ranking order coincides exactly with the final results of the election. The short distance between

*candidate2* and *candidate5*, preserving the correct order, defines accurately the difference that, in fact, happened in the real voting. Another positive aspect of the system results was the confirmation of the high difference between the winner (*candidate4*) and the others candidates. A distorting aspect, but not so significant, was the performance index of *candidate3*: in the real voting, the index of *candidate3* was not so near of *candidate5*.

## 6. Conclusions and Future Work

The Fuzzy Multi-Criteria technique reveals a new possibility in make predictions in politics. These predictions will be more accurate if the opinion pools about candidates and parties can be available as input values for the system criteria (for others methods of voting forecasting this exigency is still more relevant). However, one great advantage of this new technique, comparing to the current statistical methods, is the possibility of easily adopt the system, adding or removing criteria or same altering the weights of some criteria, conform the electoral reality of each region (**flexibility** !). In statistical solutions, the modification of some equations, to improve the quality of results, is usually a demanding task. Another important benefit to this field is related to the natural capacity of FL in directly deal with linguistic imprecise terms, which makes the system more intelligible to be used by not expert operators, enabling the direct natural human reasoning.

A system even more flexible will be certainly the aim of a future extension of this present work. That expansion could be developed in some fundamental aspects. One of them could be the possibility of the user select the more appropriate function form of the fuzzy terms (not only trapezoidal or only triangular), both for the rating of alternatives and for the criteria weights. Another interesting aspect is related to the possibility of using the system not only in the political problem described here, but in any other problem of decision making (logically problems that involve uncertainty and complex criteria). For this experiment is necessary the replacement of the voting criteria by the criteria of the other suggested problem.

The results of the proposed system will be better explored in real new elections, but the firsts tests, as the one exhibited in this paper, have showed promising results in voting prediction.

## References

[1] H. Asher, "Voting Behavior Research in the 1980s: An Examination of Some Old and New Problem Areas", Ada (Ed.) State of Political Science

II, American Political Science Association, Washington, 1983.

[2] N. Belacel. "Multicriteria assignment method PROAFTN: Methodology and medical application", *European Journal of Operational Research*, 125, 2000, pp 175-183.

[3] C. Chen, "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 2000, pp. 1-9.

[4] R. Dalton , M. Wattenberg, "The Not So Simple Act of Voting", in FINIFTER, Ada (Ed.) State of Political Science II, American Political Science Association, Washington, 1993.

[5] O. Despic, S. P. Simonovic, "Aggregation Operators for soft decision making in water resources", *Fuzzy Sets and Systems*, 115, 2000, pp. 11-33.

[6] V. Dimitrov, "Use of Fuzzy Logic when Dealing with Social Complexity", *Complexity International*, Vol. 04, 1997.

[7] R. Fuller, C. Carlsson, "Fuzzy multiple criteria decision making: Recent developments" , *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 78, 1996, pp. 139-153.

[8] G. King, "Why Are American Presidential Election Campaign Pools So Variable When Votes Are So Predictable ? ", Cambridge University Press, 1993, pp. 1-43.

[9] G. Liang, "Fuzzy MCDM based on ideal and anti-ideal concepts", *European Journal of Operational Research*, 112, 1999, pp. 682-691.

[10] W. E. Miller, J. Shanks, "The New American Voter", Harvard University Press, London, 1996.

[11] G. F. Royes, R. C. Bastos, "Fuzzy Sets in Political Science", Joint 9<sup>th</sup> IFSA World Congress and 20<sup>th</sup> Nafips International Conference, 2001, to appear.

[12] M. J. Smithson, G. Oden, "Fuzzy set theory and applications in psychology", in D. Dubois & H. Prade (Eds.), *International Handbook of Fuzzy Sets and Possibility Theory*, Vol. 5, Kluwer Academic, Amsterdam, 1999.

[13] T. Yamashita, "On a support system for human decision making by the combination of fuzzy reasoning and fuzzy structural modeling", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 87, 1997, pp. 257-263.

[14] C. H. Yeh, H. Deng, Y. Chang, "Fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies", *European Journal of Operational Research*, 126, 2000, pp. 459-473.

[15] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets", *Information and Control*, Vol. 8, 1965, pp. 338-359.

[16] H. J. Zimmermann, "Fuzzy Set Theory and its Applications", Kluwer Academic, Boston, 1991.

# Political Analysis Using Fuzzy MCDM

Gleiber Fernandes Royes\*, Rogério Cid Bastos

Universidade Federal de Santa Catarina – Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação  
(Florianópolis – SC – Brazil)  
gleiber@prsc.mpf.gov.br, rogerio@sei.ufsc.br

## Abstract

The application of Fuzzy Logic (FL) in traditional fields such as engineering, medicine or finance has become a common practice. However, in social sciences (mainly politics), the use of FL can still be intensely explored. The complex and uncertain criteria of political problems can be investigated in a clearer way joining fuzzy with Multiple Criteria Decision Making (MCDM). The practical result of this research is the creation of a computational system for election forecasting which uses linguistic terms to represent the system inputs and criteria weights. A flexible system is proposed in which the function format of the fuzzy criteria weights and of the fuzzy rating criteria can be chosen by the system user (the Decision Maker) according to particular needs. In addition, a new perspective to ideal positive and ideal negative concepts using fuzzy LR intervals is also proposed.

## 1. Introduction

The problem to be analyzed in this work is the limitation of statistical models dealing with the kind of uncertainty that is present in the field of election forecasting. Some fundamental suppositions necessary (such as the application of the normal distribution and the independence among events) for statistical methods are not usually applicable for election prediction. These suppositions are difficult to prove in practice due to the voter's behavior (some particular convictions are usually influenced by other opinions, so they are not independent - next section presents more details about this discussion). Statistical methods may deal with the random uncertainty estimating probabilities of the occurrence of future events. However, they cannot treat the partial occurrence of

an event. The voter's opinion is the main data source to be analyzed in election forecasting and it is characterized by its imprecision. The obstacle is caused by the high precision level of statistical methods related to politics, contradicting the strong presence of the human factor that is the center of the decision process in this field. Another problem to be analyzed here is the great complexity and quantity of factors which influence the prediction in politics. These complex criteria must be aggregated and assessed to produce a satisfactory decision aid (this task will be developed with the help of a Multiple Criteria Decision Making (MCDM) [24] technique). So, the fundamental problem to be considered in this work is the difficulty statistical methods have in treating adequately the kind of uncertainty and imprecision usually existent in prognostics developed in politics.

A new proposal to construct prognostics in political science, contrasting with the traditional solutions that use statistical models, is suggested here. This new solution is based on the manipulation of fuzzy sets [22]. The lack of more detailed investigation into the exploration of vague and imprecise information about politics served as motivation for this research. Statistical methods are used to make prognosis of politics. However, the exploration of other methods is rare because of the unfamiliarity of experts concerning the potential of Computational Intelligent tools that may help to deal with the complex and fuzzy decision in this field.

The main idea to apply Fuzzy Logic (FL) [22] to politics resides in the fact that the political expert reasoning is strongly based on vague and uncertain statements (common in social fields). Normally, neither are precise data available (the voter's opinion is usually inexact) nor required by the human expert in

---

\* Corresponding author, Tel. +55 48 222 7395, Fax +55 48 222 3577  
Address: Rua Esteves Júnior, 496 / ap. 311 – Centro – Florianópolis – SC – Brazil  
CEP: 88015-530

order to produce adequate predictions. The reasoning employed in politics is not exact, as can be observed as follows:

“Electors’ acceptance of candidate *C* is equal to 0.86 and his party acceptance is equal to 0.94, so the chances that candidate *C* will be elected are equal to 0.92.”

The natural subjective reasoning form would be:

“Electors’ acceptance of candidate *C* is high and his party acceptance is high, so the chances that candidate *C* will be elected are strong.”

Fuzzy Logic implements the second reasoning form computationally, showing the language used in politics in a direct and realistic way. Therefore, the fuzzy thinking enables the qualitative and subjective analysis, representing the uncertainty present in the problem. This analysis is made by the application of linguistic terms and its respective membership functions.

The practical aim of this work is to explore a new mechanism to deal with the vagueness present in political analysis, using a fundamental and complex task as initial target: “**predict, with reasonable accuracy, probable election winners**”. This kind of prediction can be made either before the campaign, as a realistic simulation of the candidate’s chances to support the analysis of the adequate candidate for a party, or during the campaign to adjust some details according to the current results (the influence of some unsatisfactory points could then be examined). Another important advantage of an intelligent decision system, specially in this suggested field, is to supply another “opinion”, completely free from personal beliefs, extern pressures or even some biased circumstances of a particular political situation. The election forecasting is not an easy task and normally demands the examination of complex aspects, (usually not numerical).

For the election prediction, a group of fundamental subjective variables was defined with the expert assistance and also with the support of some relevant literature [6,12,14] concerning political analysis. These variables are considered as criteria in a Fuzzy Multiple Criteria Decision Making (MCDM) [24] system. MCDM has been utilized as an important technique in several problems in which the final conclusion depends on different and complex evaluation factors. Some important works which apply Fuzzy MCDM, in distinct fields, can be seen in [3,5,7,21]. In politics, the prognosis of voting scenarios is usually based on complex criteria which must be carefully weighted and aggregated to produce accurate prognosis. Then, these prognosis can be

applied as fundamental resources for detailed analysis. In the system suggested here, the candidates are represented as alternatives which will be assessed in accordance with the initial criteria. Thus, it will be possible to combine the use of fuzzy for subjectivity and uncertainty with the capacity of multiple criteria in helping decision making, rating and ranking groups of alternatives, when complex and varied qualitative factors are present.

The next section presents some works related to the aspect of applying fuzzy to the context of the social field and also to the discussion of the limitation of statistical methods in election forecasting. Section 3 details the problem of election prediction and specifies the solution suggested. In Section 4, the MCDM rating and ranking techniques are presented with a particular modification to the positive and negative ideal concepts applied to produce the expected results. Next, Section 5 exhibits a short practical example of the whole process. Finally, Section 6 shows the conclusions, some points to be further explored and the possible increments for future works.

## 2. Related works and statistical models

This paper aims to present a non-conventional application of Fuzzy MCDM. A previous work [15] introduces the possibilities of applying a fuzzy rule-based system in politics, but in a distinct aspect: **the reelection chances** of one current president, governor or mayor. The results obtained in the practical use of that previous work stimulated the research introduced in this paper. Fuzzy MCDM seems to be more adequate to the proposed problem, comparing it with a rule-based system due to complex criteria and distinct candidates that must be evaluated and finally ranked. The works applying FL to politics are restricted to these two contributions. However, the application of FL in social sciences alone can be observed in some of Smithson’s publications [16], which explore the FL uses in Psychology, in aspects such as: perception and memory theories; the solution of measurement problems; and qualitative data analysis.

Dimitrov’s [8] work is another important contribution to the social field. Dimitrov defends the application of FL to deal with the paradoxical and chaotic nature of social systems. This Fuzzy system, based on rules, helps to deal with opposite opinions, permitting the search for an acceptable consensus. Furthermore, Yamashita’s [20] study presents a useful Fuzzy system in the context of decision aid, using also a reasoning mechanism based on rules. Students can be helped by the system in career choice. After applying the Fuzzy reasoning to the input values supplied by the student, the system acts as a kind of vocational guidance.

The literature about the elector's behavior (and more precisely about the election forecasting) is vast [1,2,6,12] and numerous in models. However, the fundamental tools for the great part of these theories are the statistical methods. These models try to describe the voter's behavior in estimating equations obtained via mechanisms like linear regression [2] or binary and multinomial logit [1]. The positive results presented for these methods (in some specific elections) support their applicability in some particular situations.

However, some difficulties may occur on the application of these statistical methods. The theoretical suppositions necessary for the statistical methods are not always verified in practice. The supposition that random variables have a normal probability distribution (in general the most usually requested due to its important characteristics) is only assured by the *Central Limit Theorem* [17] resource. In cases of sampling, this theorem is not always probabilistic. In fact, the researcher has great chances of not obtaining the random sample in the real sense required when he selects electors to perform the previsions. Furthermore, in these cases the *independence* basic supposition (the occurrence of one event does not change the probability of the occurrence of another event) among the sample elements is not verified in certain contexts. The voter is frequently influenced by the dominant ideology (usually an elector's common characteristic). Therefore, two basic assumptions of statistical models are difficult to be verified in practice in election forecasting: the voters (whose opinion is fundamental for the prognosis) do not usually present the characteristic of a normal and independent behavior. Another point is that in order to generate the exact equations, a vast amount of data is normally necessary, and generally, this is not available. These equations are usually developed to evaluate one specific voting (this is a restrictive aspect).

Another important aspect to be considered is that there are few statistical works presenting electoral prognosis of multiparty elections. One statistical model for multiparty elections using conditional logit can be seen in [1]. This kind of voting is not vastly explored due to the increase of complexity with the higher number of factors (criteria) necessary to elaborate the predictions (some statistical models become complex when the number of variables is high). Therefore, a Fuzzy MCDM system is an interesting alternative solution in this context, surpassing several of these restrictions.

### 3. The evaluation of the problem and the solution proposed

The practical problem to be solved is how to build up an intelligent system that can give support to the complex task of election forecasting, starting from some important qualitative information. This task is still more difficult when the voting involves more than two candidates (a multiparty election [1]). The prediction of election results usually involves varied complex criteria that may be satisfactorily addressed by MCDM techniques. The objective is to present an initial solution that makes use of five basic criteria previously pointed out by experts and also emphasized in the political literature. The alternatives  $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) represent the candidates, or probable candidates that will dispute a multiparty election. The subjective criteria  $C_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ) are used to evaluate the chances each candidate has to win the election. The performance assessment of each alternative (candidate) is made qualitatively via linguistic terms (see Table 1) which are more realistic in the context of politics than crisp exact values (this system feature also permits the direct input of qualitative information). Moreover, the membership function format of each term can be chosen by the system user among triangular, trapezoidal, bell, type S, or type Z functions (some other possibilities are also available). That characteristic represents a special prerogative compared with other Fuzzy MCDM solutions [4,5,21], in which the function formats are fixed as triangular or trapezoidal uniquely. These function formats are easy to implement computationally, but not always correspond to the user's needs.

For example, in general terms, each linguistic term is represented, as default, by a Trapezoidal Membership Function. Trapezoidal numbers [11] may be denoted by four parameters  $\{a,b,c,d\}$  (where  $-\infty < a \leq b \leq c \leq d < \infty$ ) with the Membership Function (MF):

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b. \\ 1, & b \leq x \leq c. \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d. \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

The  $x$  in interval  $[b,c]$  gives the maximal grade of  $f(x)$ , i.e.  $f(x)=1$ . It is clear to observe that a Trapezoidal MF is reduced to a triangular MF when  $b$  is equal to  $c$ . Because of its simplicity, flexibility, and computational efficiency, this kind of function has

been used intensively in varied applications. As default for the application here presented, this trapezoidal membership function reflects the fuzziness present in the problem and also corresponds to the initial expert evaluation related to the adequate representation about each term (at least as an approximation to general cases). Table-1 shows the linguistic values used for all initial criteria. It seems important to remind the reader that these terms are simply the system defaults.

Table – 1 The criteria linguistic terms represented as trapezoidal functions (the universe of discourse is normalized in [0,1])

Linguistic Term	Trapezoidal Membership Function
Low (L)	(0,0,0.1,0.2)
Medium Low (ML)	(0.1,0.2,0.3,0.4)
Medium (M)	(0.3,0.45,0.55, 0.7)
Medium High (MH)	(0.6,0.7,0.8,0.9)
High (H)	(0.8,0.9,1,1)

The system operator can also add or remove linguistic terms according to the situation. For example, if more detailed information is available, the accuracy and the number of terms can probably be increased.

Figure-1 represents the membership functions of the linguistic terms of the default criteria graphically. With this representation, it is clear to observe the vagueness and uncertainty present in the proposed political problem: there are fuzzy regions in which clear distinctions between terms are not precise.

The extensive political discussions about the most important variables for election forecasting is not finite. Hence, it is difficult to define what criteria should be used exactly. The initial list of criteria involves five fundamental items for the estimation of election chances. It is important to emphasize that these criteria are only suggested as the main attributes to be assessed. However, the system admits the addition of new evaluation items and also the removal of some of the initial five criteria. In other words, the solution may be adapted to regional specific circumstances. For example, in some countries, such as Brazil, it is common to see the voters making their choices based on the candidate's profile and not based on party identification. In this case, criterion  $C_3$  (see below) might receive a low weight or might even be suppressed. The input data for the majority of criteria

must be collected by available opinion pools or by the opinion of experts in political sciences. The main criteria and their respective descriptions are listed below:

**1) Candidate's party organization** in the specific region where the election will take place ( $C_1$ ): This first criterion describes the level of organization of the candidate's political party qualitatively. The party organization is obtained by information analysis, such as number of party affiliations in the region, number of representatives currently elected for the legislative (councilors, deputies, senators, etc.), the existence of electoral committees distributed in small regions (this characteristic indicates the party representation in the voting region), the presence of internal preliminary elections to select the party candidates, the party results in previous elections, etc. Considering this factor individually, candidates having an organized party will have more chances of triumph.

**2) The candidate's Rejection rate ( $C_2$ ):** The rejection rate represents a counterbalance criterion in relation to the other criteria. This information is obtained by the spontaneous opinion of electors about the candidate who is considered the worst among all contenders. The usual question that is applied to capture this kind of information in opinion pools is: "Among these candidates, who would you not vote for?" The result related to this question resumes the candidate's "rejection rate". Obviously, candidates having low levels of rejection will have more chances. In other words, this is a negative factor.

**3) Popular identification** with the candidate's party ( $C_3$ ): This criterion assesses the popular approval of the candidate's party. More elevated levels of popular acceptance for a party are usually linked to its ideological trends that can be either more or less approved by the voters. Another aspect that influences the popular identification is the party outcome in previous executive and legislative mandates. This criterion presents unequal importance according to the region where the voting will take place. The electors are more ideological in some regions and, as a consequence, more linked with the party's image than with the

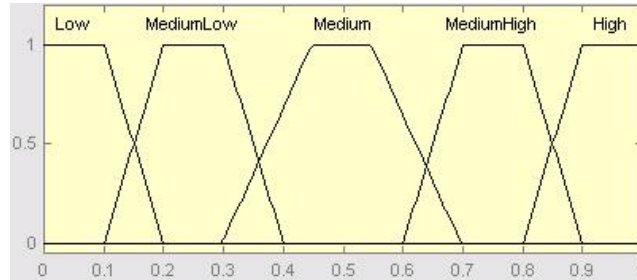


Figure – 1 Membership functions of the criteria linguistic terms (system default)

candidate’s name. Anyway, candidates whose political party is more popularly accepted will have more possibilities to win the election.

4) The candidate’s **personal quality (the candidate’s profile) (C<sub>4</sub>)**: This is the most subjective criterion. It is related to the candidate’s personal characteristics, such as competence, intelligence, morality, and also personal appearance. In some places, this aspect may be decisive according to the voter’s profile in the region. Electors with precarious education, known as irrational [14], usually incline to vote for candidates that present an image of great morality and intelligence, or even that pass an image of a careful personal presentation. This criterion is usually considered as a high point of the candidate’s success.

5) The prevision of **investments in the candidate’s campaign (C<sub>5</sub>)**: This criterion evaluates the level of media promotion for the candidate’s campaign. The campaign is promoted by investments in media publicity: newspapers, magazines, and TV programs. Another kind of promotion is obtained by the organization of rallies, contests and conventions. Again the weight of this criterion depends on the voter’s profile: normally, more informed electors (the rational voter) are not manipulated by electoral campaigns. Candidates whose party promotes or at least projects intensive investments in campaign, probably will present more chances of victory.

Figure-2 illustrates the basic system structure through the five default criteria.

The way the criteria are combined and aggregated to produce the final position of each candidate is the central subject of the next section.

#### 4. Rating and ranking the alternatives

Two of the most important tasks using the MCDM technique are basically [24]:

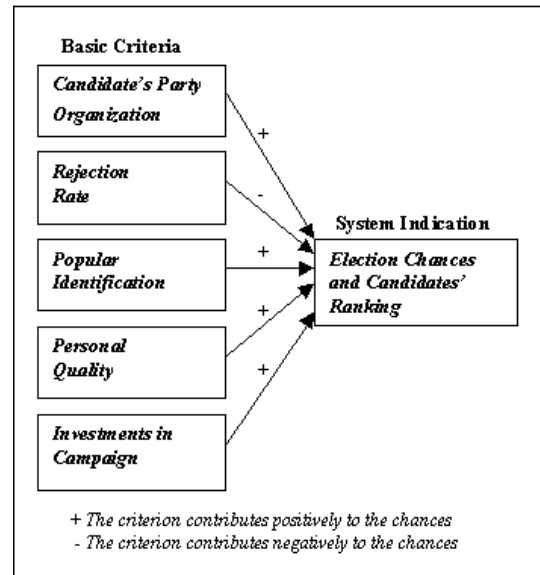


Figure – 2 Structure of the default criteria

- How to obtain the overall aggregated index for each one of the alternatives, given the initial input values for the criteria and the respective weights (the rating of alternatives). Linguistic fuzzy values are aggregated by the system here described;
- The form of ranking the alternatives (the alternatives must be classified in order of importance).

First, it is necessary to evaluate the weight of importance related to each criterion in order to obtain the aggregated values of each alternative. The system default is the selection of the same weight for all criteria, but the user can interactively modify them, offering different values. This process forms a vector of weights  $\tilde{W}_n$ :

$$\tilde{W}_n = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$$



where each element  $\tilde{w}_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) corresponds to the respective criterion weight.

The scale of weights' definition also utilizes linguistic terms (for example, trapezoidal fuzzy values), which are applied to define the criterion importance (see Table-2) qualitatively. The main strategy of this solution applying fuzzy terms instead of exact values is to explore the natural qualitative reasoning employed in politics. An imprecise value, such as "Little Important", will be more expressive and adequate to represent the importance of a criterion than a crisp value, such as 2 or 3. A numerical value will be interpreted as a limitation for a Decision Maker in this context.

Table – 2 The default membership functions of the criteria weights

Linguistic Term	Trapezoidal Membership Function
Least Important	(0,0,0.1,0.2)
Little Important	(0.1,0.2,0.3,0.4)
Medium Important	(0.3,0.45,0.55,0.7)
Important	(0.6,0.7,0.8,0.9)
Very Important	(0.8,0.9,1,1)

The Decision Maker can either use one of the fuzzy values defined in Table-2, or define other distinct terms with other function formats, just like the process described before for the fuzzy input values of each criterion. Therefore, the input value *Medium* for the criterion *personal qualities* ( $C_4$ ) might be represented by a *bell* function, while its respective weight *Very Important* could be defined by a *type S* function. The idea is not only to supply a default solution, but also to explore the ability of more experienced Decision Makers, given the possibility to experiment particular solutions.

The rating of alternatives is represented as a Decision Matrix ( $\tilde{D}_{m \times n}$ ) (see the matrix format below), where every element  $\tilde{x}_{ij}$  represents the respective fuzzy input value of each alternative related to each criterion. The formats of the linguistic terms are equal to Table-1 or another format defined by the system user might be used. These input fuzzy values are directly supplied by the Decision Maker.

$$\tilde{D}_{m \times n} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

Where  $m$  is the number of alternatives and  $n$ , the number of criteria.

In the solution here proposed, each element  $\tilde{x}_{ij}$  is transformed in a fuzzy interval of LR-type (the complete discussion about *Left* and *Right* type functions can be observed in the work of Dubois and Prade [9]) to allow the necessary posterior arithmetic operations among distinct formats of fuzzy values. LR fuzzy intervals are very useful as a unified representation to distinct types of information, approximating its membership functions. That solution provides a simplified technique to manipulate fuzzy intervals, replacing the convolution-like algebraic operations [19]. The convolution-type operations are straightforward formulations, but imply sequences of tedious computations, such as presented in the example below. Algebraic operations involving fuzzy sets are obtained through the application of the extension principle [22]. Following this principle, it is possible to extend any conventional point operation (for crisp values) to operations involving fuzzy sets. The extension principle involves basically a mapping function  $f(x)$  that represents the operation to be applied. The generalized form of the extension principle is denoted as:

$$C(z) = \underset{\substack{\text{all } x, y \\ \text{such that} \\ x \perp y = z}}{\text{Max}} \{ \underset{\text{Min}}{\text{Min}}(A(x), B(y)) \}$$

where  $x, y, z \in R$ ,  $A$  and  $B$  are fuzzy sets that will be operated to produce the fuzzy set  $C$ , and  $\perp$ , is the binary generalized arithmetical operator:  $+$ ,  $-$ ,  $/$ ,  $*$ .

For example, the fuzzy addition operation ( $C = A + B$ ) of two fuzzy sets having discrete membership functions  $A = \{0.3 / 1, 1 / 2, 0.4 / 3\}$  and  $B = \{0.7 / 2, 1 / 3, 0.2 / 4\}$  (these two fuzzy sets represent, respectively, the fuzzy values: "around 2" and "around 3") is given below. The *sum* is obtained applying the extension principle and the sequence of convolution-like algebraic operations on the support elements.

First, the *Min* operator and addition are used following the generalized form above:

$$C = A + B = \text{Max} \{ (0.3/3), (0.3/4), (0.2/5), (0.7/4), (1/5), (0.2/6), (0.4/5), (0.4/6), (0.2/7) \}$$

Then the *Max* operator is applied, resulting:



$$C = A + B = \{(0.3/3), (0.7/4), (1/5), (0.4/6), (0.2/7)\}$$

This very simple example illustrates the common solution used for processing arithmetical operations among fuzzy sets using convolution operations. Continuing with the distinct solution applying LR-type intervals, on a second step, the weighted fuzzy matrix  $\tilde{V}_{m \times n}$  is constructed multiplying (multiplication of fuzzy intervals of LR-type, instead of the convolution-like operation) the transformed input fuzzy number of each alternative for the respective criterion weight (the weights are also transformed in LR fuzzy intervals, using the format described in equation (2)):

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{x}_{ij} * \tilde{w}_j \quad (1)$$

The fuzzy values are converted in fuzzy intervals of LR-type, whose basic idea is to approximate the membership function of a fuzzy interval  $\tilde{M}$ , as a combination of the Left (L) and Right (R) reference functions. The LR fuzzy interval can be defined by four parameters:

$$\tilde{M} = (\underline{m}, \bar{m}, \alpha, \beta)_{LR} \quad (2)$$

where  $\underline{m}$  is the center left (or peak left) of the membership function of  $\tilde{M}$ ;  $\bar{m}$ , the center right, and  $\alpha$  and  $\beta$  respectively the left and right spreads of the function. The membership function of  $\tilde{M}$  is presented below, L and R being strictly decreasing continuous functions from  $[0,1]$  to  $[0,1]$  with  $L(0)=R(0)=1$  and  $L(1)=R(1)=0$  (such as:  $1-x^2$ , etc.):

$$\mu_{\tilde{M}} = \begin{cases} L((\underline{m} - x) / \alpha) & \text{for } x \leq \underline{m} \\ 1 & \text{for } \underline{m} \leq x \leq \bar{m} \\ R((x - \bar{m}) / \beta) & \text{for } x \geq \bar{m} \end{cases}$$

Therefore, the product of two fuzzy values converted in a LR fuzzy interval, using the notation exhibited in equation (2), is given by:

$$A = \tilde{x}_{ij}, B = \tilde{w}_j, \tilde{v}_{ij} = A * B, A > 0, B > 0,$$

$$A * B \equiv (\underline{m}_a \underline{m}_b, \bar{m}_a \bar{m}_b, \underline{m}_a \alpha_b + \underline{m}_b \alpha_a, \bar{m}_a \beta_b + \bar{m}_b \beta_a)_{LR} \quad (3)$$

Considering the concept of LR representation, the system might perform the multiplication of distinct kinds of fuzzy values, which permits the implementation of the suggested system flexibility and avoids the application of the convolution-type operations.

Applying the matrix  $\tilde{V}_{m \times n}$  obtained via the product described in equation (1), it is possible to pass to the next step, obtaining the aggregated rating values and the ranking of alternatives.

Several methods used for ranking the alternatives and also for assessing the relative importance of multiple criteria are commented in the Fuller's work [10]. The adequate method depends on the necessities and characteristics of the specific problem. For the election forecasting, an extension of the positive ( $A^+$ ) and negative ideal ( $A^-$ ) concepts [4,13] was applied. That choice was made because this method has been suggested as a promising solution [4,13,21] when the problem uses directly linguistic terms; and also due to its straightforward use and comprehension, even when the number of alternatives and criteria is elevated (this characteristic is not really true for some other methods). In addition, such a solution is not computer demanding in comparison with some other popular methods. The positive and negative ideal concepts represent the extremes between the appropriate result of one hypothetical alternative and the inappropriate result of it.

The best alternative (in this case, the winner) will be that one having the shortest distance to the positive ideal solution and, at the same time, having the longest distance to the negative ideal solution. The general forms of the positive and negative ideal solutions vectors are respectively:

$$A^+ = (\tilde{a}_1^+, \tilde{a}_2^+, \dots, \tilde{a}_n^+),$$

$$A^- = (\tilde{a}_1^-, \tilde{a}_2^-, \dots, \tilde{a}_n^-),$$

$i = 1, 2, \dots, n$  (where  $n$  is the number of criteria)

$\tilde{a}_i^+$  and  $\tilde{a}_i^-$  representing a fuzzy number or interval. In the solution here presented, they will represent fuzzy intervals of LR-type, using the same notation presented in equation (2). The approach using the positive and negative ideal solutions is similar to other previous contributions, such as [4,13,21]. However, the important difference is exactly related to the meaning of each element in  $A^+$  and  $A^-$ . They are not always triangular or trapezoidal numbers, as proposed in other works, but in fact, they are representations of

LR-type fuzzy intervals which enable a generalization of distinct functions. Therefore, for the new approach introduced, each element is represented in  $A^+$  and  $A^-$  respectively as:

$$\tilde{a}_i^+ = (\underline{m}, \bar{m}, \alpha, \beta)_{LR}, \quad (4)$$

$$\tilde{a}_i^- = (\underline{m}, \bar{m}, \alpha, \beta)_{LR} \quad (5)$$

The analysis of the best alternatives becomes possible with this solution, even when distinct kinds of fuzzy intervals (or numbers) to input values and to criteria weights are supplied. This solution is better explored in the numerical example exposed next.

The distances of *Hamming* between each alternative to  $A^+$  and  $A^-$  are calculated:

$$d_j^+ = \sum_{i=1}^m |\tilde{a}_i^+ - \tilde{v}_{ij}|, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$d_j^- = \sum_{i=1}^m |\tilde{v}_{ij} - \tilde{a}_i^-|, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Where  $n$  represents the number of alternatives to be compared with both the best and worst solution and  $m$ , the number of criteria. As both the ideal (positive and negative) and the  $\tilde{v}_{ij}$  values are LR fuzzy intervals, the subtractions above have the following format:

$$A = \tilde{a}_i^+, B = \tilde{v}_{ij},$$

$$A - B = (\underline{m}_a - \underline{m}_b, \bar{m}_a - \bar{m}_b, (\underline{m}_a + \alpha_a) - (\underline{m}_b + \alpha_b), (\bar{m}_a + \beta_a) - (\bar{m}_b + \beta_b))_{LR} \quad (8)$$

$$A = \tilde{a}_i^-, B = \tilde{v}_{ij},$$

$$B - A = (\underline{m}_b - \underline{m}_a, \bar{m}_b - \bar{m}_a, (\underline{m}_b + \alpha_b) - (\underline{m}_a + \alpha_a), (\bar{m}_b + \beta_b) - (\bar{m}_a + \beta_a))_{LR} \quad (9)$$

Finally, a crisp *performance index* is calculated, representing the real final aggregated value for each alternative:

$$P_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad (10)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

The *performance index* ( $P_i$ ) is used for ranking the alternatives. In other words, the best alternative is the one having the highest index. Hence, a decreasing order can be easily formed. The next section presents a practical example, detailing the most important rating and ranking steps of a real voting.

## 5. A practical example

This section is dedicated to introduce a real case of voting prediction. The election for mayor in the year 2000, in Florianópolis, the capital of the state of Santa Catarina, Brazil, was selected in order to compare the system results with the real election outcome. The necessary information about alternatives and weights of criteria were collected using some opinion pools and the information support provided by institutes as IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) [Brazilian Institute of Geography and Statistics] and IBOPE (Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística) [Brazilian Institute of Public Opinion and Statistics]. The information used here was the one available before or at the beginning of the election. In general, exact values or even complete data were not available, making the acceptance of linguistic terms by the system primordial. This facility permits the adequate representation and treatment of imprecise values.

The first task was to investigate whether some new criteria could be relevant to that specific voting. The analysis of the local voter's behavior (for example, if the voters are rational [14]) and profile pointed to the employment of the five standard criteria: **candidate's party organization, rejection rate, popular identification with the candidate's party, the candidate's profile and investments in the candidate's campaign**. The weights were also obtained by the examination of the local voter's behavior, having the assistance of experts, and via the

Table-3 Weights for each criterion with the LR fuzzy interval representation

Weight	Linguistic Value	LR-type representation
$w_1$	<b>MI</b> - Medium Important (0.3,0.45,0.55, 0.7)	(0.45,0.55,0.15,0.15)
$w_2$	<b>I</b> - Important (0.6,0.7,0.8,0.9)	(0.7,0.8,0.1,0.1)
$w_3$	<b>LI</b> - Little Important (0.1,0.2,0.3,0.4)	(0.2,0.3,0.1,0.1)
$w_4$	<b>VI</b> - Very Important (0.8,0.9,1,1)	(0.9,1,0.1,0)

$w_5$	VI - Very Important (0.8,0.9,1,1)	(0.9,1,0.1,0)
-------	-----------------------------------	---------------

available data related to the local influence of the five factors. These definitions are imprecise estimations, since exact weights are difficult or impossible to be obtained. Good estimations could be provided with more accurate information available about the criteria weights.

Table-3 shows the respective weights selected for each of the criteria ( $C_1, C_2, \dots, C_5$ ). For the weights, the default terms accompanied by its respective trapezoidal functions are used.

It is possible to verify that criteria ( $C_2$  and  $C_4$ ), directly related to the candidate's profile evaluation, were considered as being more important than criteria ( $C_1$  and  $C_3$ ), related to the candidate's party. This characteristic certainly emphasizes the general voter's profile, more influenced by the candidate's profile than by the candidate's ideological trends (usually a characteristic of less rational voters).

For the formats of the criteria input values, the default values defined in Table-1 and graphically exhibited in Figure-1 were not used. This can be justified by the fact that functions type  $\pi_i$  presented in Table-4 and Figure-3 are more adequate to the specific case.

Having the vector of weights properly determined (see Table-3) and the rating of alternatives (candidates) carefully defined by the Decision Maker (see Table-5), the system pass on to the next step. Now, the ratings (fuzzy estimations) of each candidate in the transformed decision matrix (see Table-6) are multiplied by the respective criterion weights, using equation (3). Table-7 shows the *Weighted Matrix* constructed by the system using equation (1).

The subsequent step uses the *Weighted Matrix* and the positive and negative ideal solutions to calculate the distances between the ratings of each candidate and the ratings of a supposed ideal positive and negative candidate (the positive ideal and negative ideal solutions also use values in the format of fuzzy LR-type intervals as presented in formulas (4) and (5)). The imaginary positive and negative ideal candidates are represented below. It seems important to say that the second element in the first vector related to criterion  $C_2$  represents the ideal candidate whose

Table – 4 The criteria linguistic terms exclusively defined for the practical problem

Linguistic Term	$\pi_i$ Membership Function
Low (L)	(0,0,0.2,0.3)
Medium Low (ML)	(0.2,0.25,0.35,0.4)
Medium (M)	(0.35,0.45,0.55, 0.65)
Medium High (MH)	(0.55,0.7,0.8,0.95)
High (H)	(0.8,0.9,1,1)

It is possible to demonstrate the system operation based on fuzzy intervals of LR-type using distinct kinds of membership functions formats to weights and criteria inputs (trapezoidal and  $\pi_i$  functions).

The initial Decision Matrix is constructed using the available information (see Table-5). Fuzzy input values represent the initial rating of each candidate related to each one of the five criteria presented in the previous section. The number of candidates (in other words, the number of alternatives) running for that election was also equal to five. Table-6 shows the Decision Matrix with the initial rates already translated by the system to the format of LR fuzzy intervals, using the notation exhibited in equation (2).

*rejection rate* does not exist. The same interpretation is valid for the negative ideal candidate, whose second element represents the maximum *rejection rate*:

$$A^+ = ((1, 1, 0, 0), (0, 0, 0, 0), (1, 1, 0, 0), (1, 1, 0, 0), (1, 1, 0, 0)),$$

$$A^- = ((0, 0, 0, 0), (1, 1, 0, 0), (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0), (0, 0, 0, 0))$$

Applying equations (6) and (7), the distances ( $d_i^+$  and  $d_i^-$ ) of each candidate to the ideal positive and ideal negative candidate are calculated (the difference is obtained via formulas (8) and (9)). Finally, the last step produces the ranking order of the candidates, applying the performance index ( $P_i$ ) obtained by equation (10). Table-8 illustrates the distances and also the final ranking order of the five candidates. In order to exemplify this, candidate *Amim*'s calculations, achieving the first ranking place are presented next:

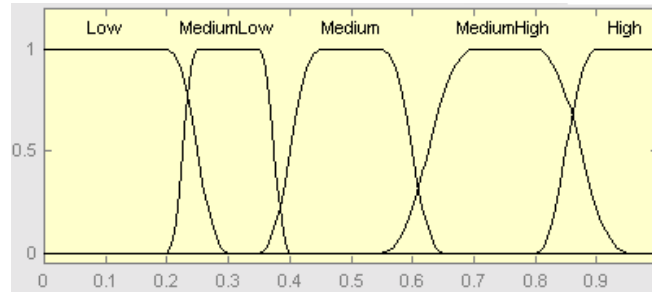


Figure – 3 The selected membership functions formats for the criteria ratings (to the numerical example)

Table – 5 The original Decision Matrix ( $\tilde{D}_{5 \times 5}$ ) with the initial ratings

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
<i>Portanova</i>	L (0,0,0.2,0.3)	MH (0.55,0.7,0.8,0.95)	M (0.35,0.45,0.55,0.65)	M (0.35,0.45,0.55,0.65)	L (0,0,0.2,0.3)
<i>Vanio</i>	MH (0.55,0.7,0.8,0.95)	MH (0.55,0.7,0.8,0.95)	ML (0.2,0.25,0.35,0.4)	ML (0.2,0.25,0.35,0.4)	M (0.35,0.45,0.55,0.65)
<i>Grando</i>	ML (0.2,0.25,0.35,0.4)	M (0.35,0.45,0.55,0.65)	M (0.35,0.45,0.55,0.65)	MH (0.55,0.7,0.8,0.95)	ML (0.2,0.25,0.35,0.4)
<i>Amin</i>	H (0.8,0.9,1,1)	ML (0.2,0.25,0.35,0.4)	MH (0.55,0.7,0.8,0.95)	H (0.8,0.9,1,1)	H (0.8,0.9,1,1)
<i>Blasi</i>	H (0.8,0.9,1,1)	MH (0.55,0.7,0.8,0.95)	ML (0.2,0.25,0.35,0.4)	ML (0.2,0.25,0.35,0.4)	M (0.35,0.45,0.55,0.65)

Table – 6 The transformed Decision Matrix ( $\tilde{D}_{5 \times 5}$ ) with the ratings as fuzzy LR-type intervals (notation presented in equation (2))

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
<i>Portanova</i>	(0,0.2,0,0.1)	(0.7,0.8,0.15,0.15)	(0.45,0.55,0.1,0.1)	(0.45,0.55,0.1,0.1)	(0,0.2,0,0.1)
<i>Vanio</i>	(0.7,0.8,0.15,0.15)	(0.7,0.8,0.15,0.15)	(0.25,0.35,0.15,0.15)	(0.25,0.35,0.15,0.15)	(0.45,0.55,0.1,0.1)
<i>Grando</i>	(0.25,0.35,0.15,0.15)	(0.45,0.55,0.1,0.1)	(0.45,0.55,0.1,0.1)	(0.7,0.8,0.15,0.15)	(0.25,0.35,0.15,0.15)
<i>Amin</i>	(0.9,1,0.1,0)	(0.25,0.35,0.15,0.15)	(0.7,0.8,0.15,0.15)	(0.9,1,0.1,0)	(0.9,1,0.1,0)
<i>Blasi</i>	(0.9,1,0.1,0)	(0.7,0.8,0.15,0.15)	(0.25,0.35,0.15,0.15)	(0.25,0.35,0.15,0.15)	(0.45,0.55,0.1,0.1)

Table – 7 The Weighted Matrix  $\tilde{V}_{5 \times 5}$  obtained via equation (3)

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
<i>Portanova</i>	(0,0.11,0,0.08)	(0.49,0.64,0.17,0.2)	(0.09,0.16,0.06,0.08)	(0.4,0.55,0.13,0.1)	(0,0.2,0,0.1)
<i>Vanio</i>	(0.31,0.44,0.17,0.2)	(0.49,0.64,0.17,0.2)	(0.05,0.1,0.05,0.08)	(0.22,0.35,0.16,0.15)	(0.4,0.55,0.13,0.1)
<i>Grando</i>	(0.11,0.19,0.11,0.13)	(0.31,0.44,0.11,0.13)	(0.09,0.16,0.06,0.08)	(0.63,0.8,0.2,0.15)	(0.22,0.35,0.16,0.15)
<i>Amin</i>	(0.4,0.55,0.18,0.15)	(0.17,0.28,0.13,0.15)	(0.14,0.24,0.1,0.12)	(0.81,1,0.18,0)	(0.81,1,0.18,0)
<i>Blasi</i>	(0.4,0.55,0.18,0.15)	(0.49,0.64,0.17,0.2)	(0.05,0.1,0.05,0.08)	(0.22,0.35,0.16,0.15)	(0.4,0.55,0.13,0.1)

$$\begin{aligned} \tilde{v}_{14} &= (0.4,0.55,0.18,0.15), \\ \tilde{v}_{24} &= (0.17,0.28,0.13,0.15), \\ \tilde{v}_{34} &= (0.14,0.24,0.1,0.12), \\ \tilde{v}_{44} &= (0.81,1,0.18,0), \\ \tilde{v}_{54} &= (0.81,1,0.18,0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_4^+ &= \left| \tilde{a}_1^+ - \tilde{v}_{14} \right| + \left| \tilde{a}_2^+ - \tilde{v}_{24} \right| + \left| \tilde{a}_3^+ - \tilde{v}_{34} \right| \\ &\quad + \left| \tilde{a}_4^+ - \tilde{v}_{44} \right| + \left| \tilde{a}_5^+ - \tilde{v}_{54} \right| \end{aligned}$$

$$d_4^+ = 6.37$$

$$d_4^- = \left| \tilde{v}_{14} - \tilde{a}_1^- \right| + \left| \tilde{v}_{24} - \tilde{a}_2^- \right| + \left| \tilde{v}_{34} - \tilde{a}_3^- \right| + \left| \tilde{v}_{44} - \tilde{a}_4^- \right| + \left| \tilde{v}_{54} - \tilde{a}_5^- \right|$$

$$d_4^- = 13.63$$

First, the score distances relative to the Ideal Positive and Negative Solutions are calculated via equations (6) and (7). The values of each  $a_i^+$  and  $a_i^-$  are taken from the vectors previously described ( $A^+$  and  $A^-$ ) and *Amim*'s performances related to each criterion (with the values already converted on LR intervals and also multiplied for the respective weights) are obtained by the elements of line four in matrix  $\tilde{V}_{5 \times 5}$  (see Table 7). The differences are calculated using equations (8) and (9).

Having the distances already calculated, the last step produces the aggregated performance of each alternative. For candidate *Amim*, the Performance Index is finally computed:

$$P_4 = \frac{d_4^-}{d_4^+ + d_4^-} = \frac{13.63}{6.37 + 13.63} = 0.68$$

The ranking order (see Table-8) coincides with the final results of the election. The short distance between *Vanio* and *Blasi* accurately defines the difference that happened in the real voting. Another positive aspect of the system results was the confirmation of the high difference between the winner (*Amim*) and the other candidates. However, a distorting aspect (apparently insignificant) was *Grando's* index performance: *Grando's* index was distant from *Blasi's* in real voting.

Table – 8 The distances to positive and negative ideal solutions, the performance indexes, and the final ranking order

	$d_i^+$	$d_i^-$	$P_i$	Ranking
<i>Portanova</i>	15.06	4.94	0.25	5
<i>Vanio</i>	12.75	7.25	0.36	4
<i>Grando</i>	11.60	8.40	0.42	2
<i>Amim</i>	6.37	13.63	0.68	1
<i>Blasi</i>	12.39	7.65	0.38	3

## 6. Conclusions and future work

The Fuzzy Multi-Criteria technique reveals a new possibility of making predictions in politics. These predictions will be more accurate if the opinion pools of candidates and parties are available as input values for the system criteria (for other methods of voting forecasting, this exigency is still more accentuated). However, one important advantage of this new technique, comparing with the current statistical methods, seems to be the possibility to adapt the system - adding or removing criteria or even altering the weights of some criteria - conform the electoral reality of each region (**flexibility**). In statistical solutions, the modification of some equations in order to improve quality results is usually a demanding task. Another important contribution to this field is related to the natural FL capacity to deal with linguistic imprecise terms. This capacity makes the system more intelligibly-used by non-expert operators, enabling the direct natural human reasoning.

In spite of the reasonable diversity of membership functions to express the uncertainty, the system user still has to adapt the function which is closer to his/her reality. Some new options of membership functions must be incorporated to the system to increase the modeling options. Another limitation is related to the form of specifying criteria weights. Some kind of comparative solution may be used for confronting the importance of each criteria. A comparative scale of importance can be applied by the Decision Maker as a means to extract the correct influence of each criterion more accurately. Another important factor to be observed is that the initial default function formats of linguistic terms related to weights and alternatives performances are a generalized approximation. To use the system in a particular situation effectively, the whole uncertain information must be revised by local political experts in order to possibly redefine some of these values or even to add or remove some criterion. The system results become more trustful with this precaution.

The innovative approach to the positive and negative ideal concepts by the application of LR fuzzy intervals allowed the implementation of a highly adaptable system, comparing with previous solutions that treat only one kind of function. However, a more rigorous analysis must be made to evaluate the impact that this LR intervals transformation presents in relation to the possibility of some waste in the uncertainty, initially defined by the user. Moreover, a detailed *sensitivity analysis* [18] must be made concerning the method of Ideal Positive and Negative Solutions. This analysis might investigate the impact that small changes in criteria weights or in the performance of alternatives have on the initial ranking of alternatives (in the MCDM literature, this problem

is known as *rank-reversal* [23]). Finally, another important investigation would be the determination of which criterion might be considered the most relevant in relation to the resulting ranking of alternatives. It would be possible to make a more detailed investigation into the factors which determine the current ranking situation after such a study.

The high level of flexibility presented by this application allows the visualization of the solution here proposed, not only as an intelligent tool for election forecasting, but also as a platform that might support the Decision Maker in many other complex situations. The system might be used for other problems that involve uncertainty and complex criteria, such as the planning of governmental public actions, the simulation of viability of new methods employed by an organization, the selection of new employers by enterprises, and so on. For this kind of experiment, it is necessary to replace the voting criteria with the relevant criteria of the new problem. The adequate analysis of weights and functions formats is also necessary.

In addition to the Fuzzy MCDM tool, a Case Based Reasoning (CBR) scheme could be used to help on analyzing the present situation (as a complementary mechanism). A base of relevant cases might be maintained as reference source to be compared with new similar cases.

The results of the proposed system might be better explored in future elections and also with some new applications. However, the first tests, as illustrated by the example presented in this paper, have shown promising results to help Decision Makers in complex situations. In spite of these positive results, future improvement and more detailed analysis, such as the ones here suggested, must be performed in order to increase the degree of acceptance of the system indications.

### Acknowledgements

The authors sincerely wish to acknowledge the valuable contribution of the journal referees. Their suggestions were extremely useful for the final version of this paper. We would also like to thank Ms. Sinara Branco for her careful grammatical revision, which was also important for this final document.

### References

[1] R. Alvarez, When Politics and Models Collide: Estimating Models of Multiparty Elections, *American Journal of Political Science*, Vol. 42, 55-96, 1998.

[2] H. Asher, Voting Behavior Research in the 1980s: An Examination of Some Old and New Problem Areas, in *State of Political Science II*, FINIFTER, Ada (Ed.), American Political Science Association, Washington, 1983.

[3] N. Belacel. Multicriteria assignment method PROAFTN: Methodology and medical application, *European Journal of Operational Research*, Vol. 125, 175-183, 2000.

[4] C. Chen, Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 114, 1-9, 2000.

[5] C. Chen, A fuzzy approach to select the location of the distribution center, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 118, 65-73, 2001.

[6] R. Dalton and M. Wattenberg, The Not So Simple Act of Voting, in *State of Political Science II*, FINIFTER, Ada (Ed.) , American Political Science Association, Washington, 1993.

[7] O. Despica and S. P. Simonovic, Aggregation Operators for soft decision making in water resources, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 115, 11-33, 2000.

[8] V. Dimitrov, Use of Fuzzy Logic when Dealing with Social Complexity, *Complexity International*, Vol. 04, 1997.

[9] D. Dubois and H. Prade, Fuzzy numbers: An overview, in *Analysis of Fuzzy Information*, Vol. 1: Mathematics and Logic, J. C. Bezdec (Ed.), CRC Press, Boca Raton, 1987, pp. 3-39.

[10] R. Fuller and C. Carlsson, Fuzzy multiple criteria decision making: Recent developments, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 78, 139-153, 1996.

[11] A. Kaufmann and M. M. Gupta, *Introduction to Fuzzy Arithmetic Theory and Application*, Van Nortrand Reinhold, New York, 1991.

[12] G. King, *Why Are American Presidential Election Campaign Pools So Variable When Votes Are So Predictable ?*, Cambridge University Press, 1993, pp. 1-43.

[13] G. Liang, Fuzzy MCDM based on ideal and anti-ideal concepts, *European Journal of Operational Research*, Vol. 112, 682-691, 1999.

[14] W. E. Miller and J. Shanks, *The New American Voter*, Harvard University Press, London, 1996.

[15] G. F. Royes and R. C. Bastos, Fuzzy Sets in Political Science, *Joint 9<sup>th</sup> IFSA World Congress and 20<sup>th</sup> Nafips International Conference*, 2001.

[16] M. J. Smithson and G. Oden, Fuzzy set theory and applications in psychology, in *International Handbook of Fuzzy Sets and Possibility Theory*, D. Dubois & H. Prade (Eds.), Vol. 5, Kluwer Academic, Amsterdam, 1999.

[17] B. Thorne and W. L. Carlson, *Applied Statistical Methods for Business, Economics, and the Social Sciences*, Prentice Hall, New Jersey, 1997.

- [18] E. Triantaphyllou, *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [19] R. R. Yager, and D. P. Filev, 1994. *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*, John Wiley & Sons, New York, 1994.
- [20] T. Yamashita, On a support system for human decision making by the combination of fuzzy reasoning and fuzzy structural modeling, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 87, 257-263, 1997.
- [21] C. H. Yeh, H. Deng, Y. Chang, Fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies, *European Journal of Operational Research*, Vol. 126, 459-473, 2000.
- [22] L. A. Zadeh, Fuzzy Sets, *Information and Control*, Vol. 8, 338-359, 1965.
- [23] S. H. Zanakis. A. Solomon, N. Wishart, S. Dublisch, Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods, *European Journal of Operational Research*, Vol. 107, 507-529, 1998.
- [24] H. J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory and its Applications*, Kluwer Academic, Boston, 1991.

## Referências Bibliográficas

- A. AAMODT, E. PLAZA (1994), *Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches*, AICom - Artificial Intelligence Communications, IOS Press, Vol. 7, 39-59.
- M. ABEL (2000), *Raciocínio Baseado em Casos*, Folheto 262, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.
- R. ALVAREZ (1998), *When Politics and Models Collide: Estimating Models of Multiparty Elections*, American Journal of Political Science, Vol. 42, 55-96.
- H. ASHER (1983), *Voting Behavior Research in the 1980s: An Examination of Some Old and New Problem Areas*, in State of Political Science II, FINIFTER, Ada (Ed.), American Political Science Association, Washington.
- C. BANA E COSTA, J. VANSNICK (1994), *Macbeth - An interactive path towards the construction of cardinal value functions*, International Transactions in Operational Research, Vol. 1, 489-500.
- C. BANA E COSTA, L. ENSSLIN, E. C. CORRÊA, J. VANSNICK (1999), *Decision Support Systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process*. European Journal of Operational Research, Vol. 113, 315-335.
- C. BANA E COSTA, J. VANSNICK (2001), *Conflict dissolution in the public sector: A case-study*, European Journal of Operational Research, Vol. 130, 388-401.
- J. BARBER, S. BHATTA, A. GOEL, M. PEARCE (1992), *Askjet: Integrating Case-Based Reasoning and Multimedia Technologies for Interface Design Support*, in Artificial Intelligence in Design, J. S. Gero (Ed.), Kluwer, 457-476.
- J. BLIN (1974), *Fuzzy relations in group decision theory*, Cybernetics, Vol. 4, 17-22.



- C. BOENDER, J. G. GRAAN, F. LOTSMA (1989), *Multi-Criteria Decision Analysis with Fuzzy Pairwise Comparisons*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 29, 133-143.
- P. BONISSONE (1999), *Fuzzy Sets and Expert Systems in Computer Engineering*, Course Notes, Rensselaer Polytechnic Institute.
- Y. CHANG, C. YEH (1998), Decision Support for Bus Operations under Uncertainty: a Fuzzy Expert System Approach, Omega, Vol. 26, 367-380.
- C. CHEN (2000), *Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 114, 1-9.
- S. CHEN (1985), *Ranking fuzzy numbers with maximizing set and minimizing set*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 17, 113-130.
- P. A. B. COSTA (1999), *Um Enfoque Segundo a Teoria de Conjuntos Difusos para a Meta-análise*, Tese de Doutorado, PPGEP, UFSC.
- R. DALTON, M. WATTENBERG (1993), *The Not So Simple Act of Voting*, in State of Political Science II, FINIFTER, Ada (Ed.), American Political Science Association, Washington.
- G. DEBOECK (1994), *Trading on the Edge*, Addison-Wesley.
- E. DOMESHEK, J. KOLODNER (1992), *A Case-Based Design Aid for Architecture*, in Artificial Intelligence in Design 92, J. S. Gero (Ed.), Kluwer, 497-516.
- E. DOMESHEK, J. KOLODNER, C. ZIMRING (1994), *The Design of a Tool Kit for Case-Based Design Aids*, Proceedings of the Third International Conference on Artificial Intelligence in Design.

- O. DUARTE (1998), *Sistema de Lógica Difusa – UNFUZZY 1.1*, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- D. DUBOIS, H. PRADE (1979), *Fuzzy real algebra: some results*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 2, 327-348.
- D. DUBOIS, H. PRADE (1980), *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*, Academic Press, New York, USA.
- D. DUBOIS, H. PRADE (1987), *Fuzzy numbers: An overview*, in Analysis of Fuzzy Information, Vol. 1: Mathematics and Logic, J. C. Bezdec (Ed.), CRC Press, Boca Raton, 3-39.
- D. DUBOIS, M. GRABISH, F. MODAVE, H. PRADE (2000), *Relating decision under uncertainty and multicriteria decision making models*, International Journal of Intelligent Systems, Vol. 15, 967-979.
- W. EL-WAHED, M. ABO-SINNA (2001), *A hybrid fuzzy-goal programming approach to multiple objective decision making problems*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 119, 71-85.
- S. FENG (1999), *Decision support for fuzzy comprehensive evaluation of urban development*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 105, 1-12.
- K. J. HAMMOND (1989), *DARPA Case-based Reasoning Workshop*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, USA.
- J. JANG, C. SUN , E. MIZUTANI (1997), *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, New Jersey.
- N. KASABOV (1996), *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*, Kluwer Academic, Boston.

- V. KECMAN (2001), *Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks, and Fuzzy Logic Models (Complex Adaptive Systems)*, MIT Press.
- G. KING (1993), *Why Are American Presidential Election Campaign Pools So Variable When Votes Are So Predictable ?*, Cambridge University Press, 1-43.
- G. KLIR, Developments in Uncertainty Based Information, in *Advances in Computers*, Vol. 36, M. Yovitz (Ed.), Academic Press, 255-332.
- G. KLIR, B. YUAN (1995), *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice Hall, USA.
- J. L. KOLODNER (1992), *A Case-Based Advising System for Lesson Planning*, World Conference on Artificial Intelligence in Education, Edinburgh, Scotland.
- J. L. KOLODNER (1993), *Case-Based Reasoning*, Morgan Kaufmann, San Francisco, California.
- B. KOSKO (1993), *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic*, Hyperion, New York.
- R. J. KUO (2001), *A sales forecasting system based on fuzzy neural network with initial weights generated by genetic algorithm*, *European Journal of Operational Research*, Vol. 129, 496-517.
- K. KWAHK, Y. KIM (1999), *Supporting business process redesign using cognitive maps*, *Decision Support Systems*, Vol. 25, 155-178.
- D. B. LEAKE (1996), *Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons, and Future Directions*, AAAI Press, Menlo Park, CA, USA.

- M. LENZ (1998), *Case-Based reasoning technology: from foundation to applications*, Berlin, Springer-Verlag.
- H. LI (1995), *Fuzzy Sets and Fuzzy Decision-Making*, CRC Press.
- S. LI (2000), *The development of a hybrid intelligent system for developing marketing strategy*, Decision Support Systems, Vol. 27, 395-409.
- L. F. J. MAIA (1991), *Caracterização e Reconhecimento de Conceitos*, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial.
- M. G. MORGAN, M. HENRION (1998), *A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge University Press, New York, USA.
- N. PHUONG, L. DING, K. HIROTA, *Case Based Reasoning Using Fuzzy Set Theory and the Importance of Features in Medicine*, Joint 9<sup>th</sup> IFSA World Congress and 20<sup>th</sup> Nafips International Conference, Vancouver, Canada.
- M. R. REICH, D. COOPER (1997), *PolicyMaker 2.2 Software*, Harvard School of Public Health, Boston, MA, USA.
- C. K. RIESBECK, R. C. SCHANK (1989), *Inside case-based reasoning*, Lawrence Erlbaum associated, New Jersey, USA.
- L. ROCHA, C. JOSLYN (1998), *Towards a Formal Taxonomy of Hybrid Uncertainty Representations*, Information Sciences, Vol. 110, 255-277.
- B. ROY (1976), *Partial Preference analysis and decision-aid: the fuzzy outranking relation concept*, in SEM A, Paris.

- B. ROY (1991), *The Outranking Approach and the Foundation of ELECTRE Methods*, Theory and Decision, Vol. 31, 49-73.
- G. F. ROYES, R. C. BASTOS, G. F. ROYES, P. S. S. BORGES (2001), *Application of Fuzzy Sets in Political Science*, International ICSC Congress on Computational Intelligence - Second International ICSC Symposium on FUZZY LOGIC AND APPLICATIONS, Bangor, Wales, United Kingdom.
- G. F. ROYES, R. C. BASTOS (2001a), *Fuzzy Sets in Political Science*, Joint 9<sup>th</sup> IFSA World Congress and 20<sup>th</sup> Nafips International Conference, Vancouver, Canada.
- G. F. ROYES, R. C. BASTOS (2001b), *Fuzzy MCDM in Election Prediction*, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2001, Tucson, Arizona, USA.
- G. F. ROYES, R. C. BASTOS (2001c), *Political Analysis Using Fuzzy MCDM*, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, Vol. 11, IOS Press.
- G. F. ROYES, R. C. BASTOS (2002), *Using Fuzzy MCDM and Case-Based Reasoning to Support General Decision Making*, AAI Spring Symposium, Palo Alto, California, 101-108.
- T. L. SAATY (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill International, New York.
- T. L. SAATY (1994), *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP*, RWS Publications, Pitsburg, USA.
- S. SCHULZ (1999), *CBR-Works: A State-of-the-Art Shell for Case-Based Applications*, 7th German Workshop on Case Based Reasoning (GWCBR'99), Würzburg, Germany.

- F. SILVEIRA (1998), *A Decisão do Voto no Brasil*, Ed. EDIPUCRS, Porto Alegre.
- B. THORNE, W. L. CARLSON (1997), *Applied Statistical Methods for Business, Economics, and the Social Sciences*, Prentice Hall, New Jersey.
- E. TRIANTAPHYLLOU (1997), *A Sensitivity Analysis Approach for Some Deterministic Multi-Criteria Decision Making Methods*, Decision Sciences, Vol. 28, 151-194.
- E. TRIANTAPHYLLOU (2000), *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, Kluwer Academic Publishers.
- I. D. WATSON (1997), *Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise Systems*, Morgan Kaufmann Publishers.
- R. R. YAGER (1978), *Fuzzy decision making including unequal objectives*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 1, 87-95.
- R. R. YAGER, D. P. FILEV (1994), *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*, John Wiley & Sons, New York.
- T. YAMASHITA (1997), *On a support system for human decision making by the combination of fuzzy reasoning and fuzzy structural modeling*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 87, 257-263.
- C. H. YEH, H. DENG, Y. CHANG (2000), *Fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies*, European Journal of Operational Research, Vol. 126, 459-473.
- L. A. ZADEH (1965), *Fuzzy Sets*, Information and Control, Vol. 8, 338-359.

- L. A. ZADEH (1973a), *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning*, Memorandum ERL-M 411, Berkeley.
- L. A. ZADEH (1973b), *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.
- H. J. ZIMMERMANN (1987), *Fuzzy Sets, Decision making, and Expert Systems*, Kluwer Academic, Boston.
- H. J. ZIMMERMANN (1991), *Fuzzy Set Theory and its Applications*, Kluwer Academic, Boston.