



FUNDAÇÃO EDSON QUEIROZ  
UNIVERSIDADE DE FORTALEZA

# MÉTODOS MULTICRITÉRIOS COMO APOIO À DECISÃO EM COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

**Raimundo Wilson Gonçalves**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO MESTRADO EM  
INFORMÁTICA APLICADA DA UNIVERSIDADE DE FORTALEZA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Orientador: Prof. Plácido Rogério Pinheiro, D.Sc.

Aprovada por:

---

Orientador Plácido Rogério Pinheiro, D.Sc.  
(Presidente da Banca)

---

Prof. José Carlos de Araújo, D.Sc.

---

Prof. Arnaldo Dias Belchior, Ph.D.

---

Prof. Marcos Airton de Sousa Freitas, M.Sc.

Fortaleza, CE - Brasil

Dezembro/2001

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

GONÇALVES, RAIMUNDO WILSON

*Métodos Multicritérios como Apoio à Decisão em*

*Comitês de Bacias Hidrográficas*

[Fortaleza] 2001.

xi, 114 p. 29,7 cm (MIA/UNIFOR, M. Sc., Informática Aplicada, 2001)

Dissertação – Universidade de Fortaleza, MIA

1. Multicritério
2. Método Electre
3. Programação de Compromissos

I. MIA/UNIFOR

II. TÍTULO(série)

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão por aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram na elaboração desta dissertação, citando desde o pesquisador que publicou seus trabalhos na internet, propiciando-me a oportunidade de lê-los, ao professor amigo que me indicou outras publicações, como também aos amigos e familiares que pacientemente ouviram minhas opiniões, e dispensaram-me de tempo em suas companhias .

Compartilho a minha alegria pela conclusão deste trabalho com minha esposa e filhos. As dificuldades na elaboração desta dissertação foram muitas e o tempo dispensado trouxe ausências que não serão reparadas de forma instantânea. Desculpo-me aos que deixei de dar maior atenção, justificando que a pesquisa científica envolve sacrifícios que serão compensados pelos frutos dos trabalhos executados.

Espero que o tempo e os esforços dispendidos neste trabalho venham agregar valores e acrescentar idéias a outros mestrados, possibilitando-lhes maneiras adicionais de enriquecerem o material aqui desenvolvido.

De forma especial, gostaria de ressaltar o nome do professor Plácido Rogério, sendo de fundamental importância tê-lo como orientador e amigo durante todo o decorrer do curso e nesta etapa final de conclusão de mestrado, e o do professor Marcos Airton como co-orientador, cujo conhecimento na área de recursos hídricos foi de muita valia para o prosseguimento do presente trabalho.

Resumo da dissertação apresentada ao MIA/UNIFOR como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

MÉTODOS MULTICRITÉRIOS COMO APOIO À DECISÃO EM COMITÊS DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS

Raimundo Wilson Gonçalves

Dezembro/2001

Orientador: Plácido Rogério Pinheiro

Programa: Ciências da Computação

A decisão sobre a liberação das vazões dos açudes de uma bacia hidrográfica para um período vindouro, envolve grandes dificuldades compostas de aspectos sociais, políticos e econômicos.

Os métodos multicritérios são técnicas de apoio à decisão, que ajudam a solucionar problemas que possuem vários objetivos frequentemente conflitantes, com múltiplas ações possíveis, incertezas, várias etapas, e diversos indivíduos afetados pela decisão.

Esta dissertação combina a pesquisa operacional e a análise multicritério como instrumento de decisão para os participantes do Comitê da Bacia do Rio Curu.

O presente trabalho apresenta, descreve e aplica os métodos multicritérios ELECTRE I e Programação de Compromissos. Estes dois métodos são aplicados e comparados em um estudo de caso, tendo como objetivo estratégico a escolha da vazão adequada, atendendo a diversos critérios envolvidos no processo. Alguns dados foram obtidos a partir da otimização das áreas irrigadas de determinados perímetros usando as alternativas de vazões simuladas pelos técnicos da COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará), através de um modelo de programação linear.

Abstract of Thesis presented to MIA/UNIFOR as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

MULTICRITERIA METHODS AS HELP DECISION IN WATERS BASIN COMMITTEE.

Raimundo Wilson Gonçalves  
December/2001

Advisor: Plácido Rogério Pinheiro

Department: Ciências da Computação

The decision about the liberation of the flows of the dams of a basin for a coming period, involves great difficulties composed of aspects social, political and economical.

The methods multicritérios are frequently support techniques to the decision, that help to solve problems that possess several objectives conflicting, with multiple possible actions, uncertainties, you vary stages, and several affected individuals for the decision.

This dissertation combines the operational research and the analysis multicriteria as instrument of decision for the participants of the Committee of Rio Curu's Basin.

The present work presents, it describes and it applies the methods multicriteria ELECTRE I and Programming of Commitments. These two methods are applied and compared in a case study, tends as strategic objective the choice of the appropriate flow, assisting to several criteria involved in the process. Some data were obtained starting from the otimização of the areas irrigated certain perimeters using the alternatives of simulated flows for the technicians of COGERH (Company of Administration of the Recursos Hídricos of the State of Ceará), through a model of lineal programming.

## SUMÁRIO

---

1	Introdução .....	1
1.1	Motivação e Relevância do Tema .....	1
1.2	O Problema .....	2
1.3	O Processo de Tomada de Decisão .....	6
1.4	Estrutura do Trabalho .....	8
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1	Introdução .....	10
2.2	As Características da Escola Européia .....	14
2.3	As Características da Escola Americana .....	15
2.4	A semelhança de atuação entre a Escola Européia e a Escola Americana .....	16
2.5	Linhas metodológicas de área.....	20
3.	Os métodos Electre e a Programação de Compromisso.....	26
3.1	Introdução.....	26
3.2	O método ELECTRE.....	27
3.2.1	Descrição do método .....	27
3.3.	O método da Programação de Compromisso.....	32
3.3.1	Descrição do método.....	32
4.	Uma Aplicação à Bacia do Curu.....	38
4.1	Introdução.....	38
4.2	Descrição da bacia hidrográfica do rio Curu.....	40
4.3	Os recursos hídricos superficiais.....	42
4.4	Usos múltiplos da água.....	44
4.4.1	Regularização das vazões afluentes .....	44
4.4.2	Irrigação.....	45
4.4.3	Abastecimento humano e animal.....	46
4.4.4	Psicultura .....	46
4.5	O sistema hidrológico.....	46
4.6	Descrição do processo decisório.....	48

4.6.1	Formação do Comitê.....	48
4.6.2	Alternativas.....	50
4.6.3	Detalhamento das metodologias utilizadas.....	51
4.6.3.1	Cálculo das vazões dos perímetros.....	53
4.6.3.2	Vazões simuladas a serem liberadas pelos açudes.....	54
4.6.3.3	Relação percentual dos volumes finais simulados.....	56
4.6.4	Montagem dos sistemas.....	57
4.6.5	Retorno Financeiro.....	58
4.6.6	Matriz Trade-off.....	62
4.6.6.1	Resolução usando ELECTRE I .....	62
4.6.6.2	Resolução por Programação de Compromisso.....	69
5.	Conclusões e Recomendações.....	72
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

## LISTA DE FIGURAS

---

FIGURA 3.1	Gráfico do Método Electre .....	31
FIGURA 3.2	Representação gráfica da solução ideal e das soluções de compromisso Método da Programação de Compromisso .....	34
FIGURA 4.1	Vale do Curu .....	41
FIGURA 4.2	Esquema físico programado para a Bacia do Curu .....	47
FIGURA 4.3	Vetor de preferência .....	69

## LISTA DE TABELAS

---

TABELA 4.1: Relação dos Principais Reservatórios Públicos da Bacia do Curu.....	43
TABELA 4.2 : Vazões Liberadas.....	51
TABELA 4.3 : Perímetro irrigado .....	54
TABELA 4.4 : Vazões liberadas por açude .....	55
TABELA 4.5 : Relação Percentual dos Volumes Finais Simulados.....	56
TABELA 4.6 : Resultados para Alternativa I .....	59
TABELA 4.7 : Resultados para Alternativa II .....	60
TABELA 4.8: Resultados para Alternativa II .....	61
TABELA 4.9 : Matriz Trade-off.....	62
TABELA 4.10 : Classificação de Critérios .....	63
TABELA 4.11: Matriz de Avaliação.....	64
TABELA 4.12: Pesos.....	65
TABELA 4.13: Matriz de Concordância.....	66
TABELA 4.14: Escala Numérica.....	66
TABELA 4.15 Grau de Importância.....	67
TABELA 4.16 Matriz de Discordância .....	68
TABELA 4.17 Matriz de Avaliação .....	70
TABELA 4.18 Distâncias Ls.....	71

## LISTA DE SÍMBOLOS

---

$Z(x)$  Função objetivo

$x$  Vetor das variáveis de decisão

$g(x)$  Função de restrição

$X$  Região viável do espaço das decisões

$X^*$  Conjunto das soluções não-dominadas no espaço das variáveis de decisão

$Z(X^*)$  Conjunto das soluções não-dominadas no espaço dos objetivos

$C_i$  Critérios  $i$  de avaliação

$A_i$  Alternativa  $i$  de solução

$w_i$  Peso relativo do critério  $i$  de avaliação

$C(i,j)$  Índice de concordância da alternativa  $i$  com relação à  $j$

$D(i,j)$  Índice de discordância da alternativa  $i$  com relação à  $j$

$p, q$  Parâmetros do método **ELECTRE**

$C$  Conjunto das alternativas não-dominadas na estrutura de preferência forte

$A$  Conjunto das alternativas não-dominadas na estrutura de preferência fraca; matriz de comparação paritária no método Analítico Hierárquico

$L_s$  Distância da solução ideal usada no método da Programação de Compromisso

$s$  Parâmetro do método da Programação de Compromisso

$X_i$  Peso do critério  $i$  de avaliação no método da Programação de Compromisso

$a_{i,j}$  Elemento de matriz de comparação paritária do método Analítico Hierárquico

$\lambda_{\max}$  Autovalor máximo

$I$  Matriz identidade

$IC$  Índice de consistência

$W_i(C_j)$  Peso da alternativa  $i$  sob critério  $j$

$P_i$  Prioridade (classificação) da alternativa  $i$  no método Analítico Hierárquico

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 Motivação e Relevância do Tema

Na vida, tomamos continuamente decisões baseadas em nossas experiências anteriores, em nossa formação ética, econômica, social, etc. Quando enfrentamos problemas de certa complexidade, em que aparecem vários objetivos, freqüentemente conflitantes, com múltiplas ações possíveis, incertezas, várias etapas, vários indivíduos afetados pela decisão, não é fácil obter a melhor decisão simplesmente com nossos meios e com auxílio simplesmente de nossa intuição. A inclusão de múltiplos objetivos nos processos de planejamento público, superando os processos mono-critérios, normalmente o critério econômico, está sendo uma prática comum nas esferas federal, estadual e municipal.

Os métodos multicritérios de apoio à decisão têm ajudado os agentes de decisão em todos os níveis a melhorar a qualidade de vida em nosso planeta. Problemas com decisões complexas normalmente são associados a uma análise multicritérios. A sócio-psicologia nas decisões complexas em nosso país é bastante semelhante ao que usualmente encontramos no mundo desenvolvido ou em desenvolvimento, exceto que as instituições nacionais tendem a ser menos estáveis e amadurecidas. Em muitos casos, isto faz uma grande diferença, como corrupção ou autoritarismo embutidos nos processos de decisão.

Os elementos fundamentais que estão presentes nos processos de decisão são os seguintes:

1. Obter respostas às perguntas enfrentadas por um decisor em um processo de decisão;
2. Tornar transparente toda potencial decisão;
3. Aumentar a coerência entre a evolução de um processo de decisão, os objetivos, e o sistema de valor do processo.

A necessidade imperiosa de estruturar um problema de decisão e a análise de decisão conseqüente em reconhecer pontos de vista multidimensionais e proporcionar ao processo transparência e responsabilidade do público envolvido sempre é claramente entendido por pessoas que usam os métodos multicritérios. Ao nível global, as pessoas percebem o princípio ético, que pode ser subjacente à análise e a possibilidade concreta de melhorar o poder de decisões complexas.

## **1.2 O PROBLEMA**

Estando os recursos hídricos inseridos, direta ou indiretamente, na cadeia produtiva de todos os setores é natural que seja o recurso natural exposto às maiores pressões. Até recentemente, as iniciativas de planejamento e gestão do uso dos recursos hídricos foram caracterizadas pelo uso de horizontes de análise de curto prazo (20 a 50 anos, em geral) pela hegemonia técnico-institucional na tomada de decisões, pela setorização da gestão e pela relativa facilidade de financiamento de projetos públicos e privados. Neste contexto, a Análise Custo/Benefício exercia adequadamente o papel de instrumento suficiente de análise. Entretanto, este modelo de planejamento e gestão mostrou-se incapaz de produzir os resultados esperados, em função da crescente degradação ambiental causada e o conseqüente aumento das externalidades econômicas, dos prejuízos ao bem-estar social e

da insatisfação popular, do aumento do conflito entre os diversos setores usuários da água e de uma sucessão de crises econômicas.

Da análise das deficiências do modelo de gestão tradicional surgiram propostas de reestruturação, que resultaram na criação do atual Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e de alguns sistemas estaduais, que buscam transpor os problemas de gestão, adotando uma ótica sistêmica e participativa. Neste novo arcabouço institucional, algumas das demandas da gestão dos recursos hídricos são:

- Planejamento estratégico, de longo prazo, que inclua a questão da sustentabilidade;
- Participação pública no processo de tomada de decisão e;
- Definição de instrumentos legais e financeiros que viabilizem as decisões tomadas.

Frente a estas demandas, a estrutura convencional da Análise Custo/Benefício passa a apresentar uma série de limitações conceituais e metodológicas, que devem ser cuidadosamente examinadas, tanto na implementação da análise como no uso de seus resultados.

Considerando os aspectos envolvidos em uma análise sob o ponto de vista social, juntamente com as demandas do novo modelo de gestão mencionadas anteriormente, é possível identificar algumas das deficiências da análise custo/benefício tradicional (Jardim, 1999):

- Dificuldade de incorporação de um adequado critério de equidade aos impactos incidentes sobre indivíduos;
- Questões complexas relativas à distribuição de renda estão sempre presentes, seja de forma explícita, ou implícita;

- Inadequada consideração de impactos ambientais, ou incidentes em fatores não inclusos nos mercados convencionais;
- Nem todos os custos e benefícios são (ou sequer podem ser) tratados em uma base comum de valoração;
- Nos projetos e políticas públicas, a realização da análise e o julgamento de seu resultado têm, não raramente, a mesma origem (poder público), comprometendo a abrangência e a imparcialidade;
- O planejamento em macro escala é, geralmente, influenciado por critérios políticos, não contemplados na Análise Custo/Benefício;
- Existe tendência para monetarizar os benefícios extramercado (tratamento objetivo), mas não os custos (tratamento subjetivo);
- Deficiência na adoção de um tratamento sistemático, para ponderação dos impactos.

Entre as alternativas mais conhecidas à abordagem custo-benefício tradicional estão a análise custo-efetividade e a análise multicritério ou multiobjetivo.

É objetivo deste trabalho desenvolver o estudo da alternativa análise multicritério como instrumento de decisão para os participantes do Comitê da Bacia do Rio Curu, uma importante região agrícola do Ceará, em termos de produção baseada na irrigação. O Comitê da Bacia do Rio Curu foi regulamentado pela lei n. 11.996, de 24/07/1992, e aprovado na assembléia de 03/07/97, compondo o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH, com sede coincidente com a respectiva Secretaria Executiva, e com as seguintes finalidades, de acordo com o artigo 2 do estatuto de criação:

1. proceder a estudos, divulgar e debater programas de serviços e obras a serem realizados, no interesse da coletividade, definindo prioridades, objetivos, metas, benefícios, custos e riscos sociais, ambientais e financeiros, para integrar o plano de bacia hidrográfica;
2. promover o gerenciamento descentralizado, participativo e integrado dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos quantitativos e qualitativos, em sua área de atuação;
3. compatibilizar o gerenciamento dos recursos hídricos com o desenvolvimento regional e com a proteção do meio ambiente;
4. utilizar os recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, de forma múltipla assegurando o uso prioritário para o abastecimento das populações;
5. integrar as ações de defesa contra eventos hidrológicos críticos, que ofereçam risco à saúde e à segurança pública assim como outros prejuízos;
6. estimular a proteção dos recursos hídricos contra ações que possam comprometer o uso múltiplo atual e futuro;
7. criar tecnologias e capacitar recursos humanos voltados para a conservação dos recursos hídricos.

### **1.3 O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO**

A tomada de decisão é um fato cotidiano, presente em todas atividades da vida humana. Naturalmente, as pessoas enfrentam situações que lhes exigem algum tipo de decisão. Nessas situações, apresentam-se vários caminhos ou alternativas de ações possíveis e dentre estas se deve optar por aquela, que melhor satisfaz os objetivos em causa.

Apesar de ser parte integrante do dia a dia das pessoas, é uma atividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, em que temos de escolher não apenas uma entre possíveis alternativas de ação, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas ações, enfim, de considerar toda uma multiplicidade de fatores direta e indiretamente relacionados com a decisão a tomar.

De uma forma sucinta, pode-se aqui exemplificar, em termos mais amplos, com o problema em estudo neste trabalho, a dificuldade de se tomar uma decisão sem a consideração de múltiplos fatores. Para a seleção de uma determinada cultura, o agricultor poderia levar em conta um aspecto lógico como a "produtividade da cultura". No entanto, se for considerado somente este fator, poder-se-ia correr o risco de selecionar uma cultura que, por exemplo, não se desenvolveria no tipo de solo no qual seria cultivada, ou então uma que não suportaria as condições climáticas locais, o que fatalmente determinaria o fracasso da lavoura.

A decisão é, portanto, uma atividade que engloba múltiplas dimensões, perspectivas e objetivos, e para que se chegue a decidir sobre algo é preciso fazer um balanceamento de todos esses fatores os quais tem-se em mente, mesmo que de forma desorganizada ou implícita. A consideração desses diversos fatores impede que se possa tomar uma decisão

avaliando-se apenas um único critério. Daí a importância de metodologias para a tomada de decisão, que considerem todos os aspectos que são considerados como relevantes para um dado problema.

Em um problema de decisão estão em jogo vários objetivos. Existe a possibilidade de várias soluções possíveis (ações potenciais), que podem estar implícitas ou explícitas, dentre as quais pretende-se escolher a melhor ação, ou delimitar o subconjunto das mesmas, ou ordená-las decrescentemente em função de suas preferências globais, ou ainda descrever as ações e caracterizar suas múltiplas conseqüências, para poder avaliá-las mais facilmente em termos de comparação relativa ados seus méritos e desvantagens.

Além destes aspectos verificados na definição acima, pode-se acrescentar a dificuldade de que geralmente as pessoas não sabem qual realmente é o problema. Elas sabem que existe algo que não está de acordo com seu desejo, mas não conseguem defini-lo precisamente.

Assim, pode-se dizer que solucionar um problema envolve todo um processo prévio de definição e estudo de determinada situação considerada complexa, ou seja, com múltiplos objetivos, critérios e soluções. Visando solucionar estes tipos de problemas, surgiram as metodologias multicritérios de apoio à decisão, as quais partem do pressuposto de que existe um dilema de objetivos conflituosos, o que impede a existência de uma "solução ótima" e que levam ao facilitador a encontrar uma solução satisfatória.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho consiste no estudo, aplicação e implementação de metodologias multicritério de apoio à decisão, através da abordagem ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité), concebido por Bernard Roy (Roy, 1986), que utiliza o conceito de concordância, e o método de Programação de Compromisso (Zeleny, 1973), além do emprego da pesquisa operacional através do uso da programação linear no intuito de otimizar as áreas irrigadas para uma determinada vazão liberada.

Optou-se pelo uso destes métodos por revelarem-se como capazes de ajudar o decisor a entender seus objetivos e a estruturá-los de forma que um completo conhecimento sobre o contexto, que envolve a decisão seja o resultado da construção do modelo.

O trabalho é dividido em três capítulos, além da introdução e das conclusões. O segundo capítulo apresenta uma "Revisão Bibliográfica", com as mais recentes produções científicas das metodologias multicritérios, com o intuito de conhecer o estado da arte.

A fundamentação teórica das metodologias ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) e Programação de Compromisso são apresentados no terceiro capítulo.

Um "Estudo de Caso", é mostrado e aplica-se as duas metodologias em questão, como apoio ao processo decisório. O quarto capítulo dedica-se à fase de avaliação, identificação e caracterização das ações potenciais, além da avaliação destas sobre cada ponto de vista fundamental e agregação das mesmas.

Finalmente, apresenta-se a conclusão, fruto de observações realizadas ao longo do trabalho. Fazem alguns comentários a respeito dos resultados, procedimentos e softwares utilizados no processo, e ainda algumas sugestões quanto a outros trabalhos que poderiam ser realizados com a utilização de tal metodologia.

## Capítulo 2

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1 Introdução

Não se pode precisar quando o homem decidiu estudar os princípios econômicos para subsidiar o processo decisório, tornando-se racional, tanto as decisões individuais quanto aquelas tomadas em grupo. No entanto, existiram pesquisadores e estudiosos, como Adam Smith, o general prussiano Carl Von Clausewitz, Frederick Taylor e F. W. Harris, entre outros que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desta área desde épocas passadas (Schmidt,1995).

O tratamento científico das tomadas de decisões individuais através de análises criteriosas, efetuadas com base em princípios econômicos, tornando compatível a racionalidade científica com a inevitável presença do subjetivo em tais situações, iniciou-se a partir do trabalho de (Von Neumann et al, 1953). Enquanto as decisões em grupo demoraram um pouco mais, tendo sua abordagem avaliada a partir dos trabalhos do prêmio Nobel professor (Arrow, 1963). Nas duas formas de decisão citadas existia um distanciamento entre a racionalidade com a inevitável presença do subjetivo em tais situações. (Sixto Rios,1989).

Na década de 50, foram feitos muitos estudos para eliminar ou minimizar este distanciamento, aproximando os princípios econômicos com a prática do processo decisório. As aplicações de técnicas de análise econômicas ajudavam a decidir a melhor opção, considerando o critério de desempenho técnico e o uso do capital escasso de maneira prudente. O conhecimento adequado de métodos de análise de alternativas tornou-

se importante para uma série de decisões empresariais e governamentais ligadas à escolha de projetos.

Foi durante a década de 60 que os métodos de análise multicritério tiveram um desenvolvimento significativo, surgindo várias escolas de pesquisadores, com várias técnicas novas e diferentes atitudes de apoio aos novos modos de tomar decisões. Uma destas escolas é a “Escola Européia” intitulada “Multicriteria Aid for Decisions” (Roy et al., 1997).

De uma maneira geral, na década de 60, apesar do desenvolvimento de novas técnicas, a realidade econômica ditada por mercados estáveis e economia de escala, as transformações sociais que começavam a ocorrer na época não pareciam exigir um maior grau de flexibilidade das organizações. Por este motivo, os processos de tomada de decisão não necessitavam de outra preocupação dos gerentes, que não a busca pela eficiência produtiva das empresas.

Para tratar destes tipos de problemas, eram usados modelos de otimização, que se apresentavam como ferramentas de significativa contribuição. Entretanto, a flexibilidade dos modelos de decisão não era necessária apenas na busca em atender a evolução do ambiente competitivo. Mesmo épocas em que a produtividade garantia a sobrevivência das empresas, as questões do comportamento humano eram fundamentais nas decisões, mas não tinham como serem incorporadas por estes modelos.

Novos métodos foram incorporados à Pesquisa Operacional no intuito de abranger maior número de objetivos, como o *goal programming*, que considerava apenas problemas

com um conjunto bem definido de objetivos, relacionados com uma estrutura clássica de otimização (Kwak et al,1998).

Visando a atender estes objetivos não quantificáveis, surgiram modelos normativos que procuravam modelar o comportamento humano através de axiomas que ditam a racionalidade. Este modelo apresenta desvantagens. Adota uma postura ditatorial, perdendo-se muito nas tomadas de decisão. Deixando de ser desenvolvido um aspecto comunicativo e de aprendizado, em consequência da falta de interação entre os intervenientes. Apesar da existência deste modelo, os decisores preferem usar métodos de ajuda aos julgamentos na resolução de situações complexas em virtude dos erros de decisão serem extremamente comuns (Syskos et al., 1999-a).

Incorporando, de uma maneira mais ampla, os valores dos atores surgiram os trabalhos da linha prescritivista. Defende-se que se deve confrontar os indivíduos com os axiomas prescritivistas emanados do estudo e se os aceitarem, aplicá-los. Neste modelo, o facilitador descreve um sistema de preferências do decisor e faz prescrições baseadas em normas que são confrontadas com os fatos descritos.

Ao recomendar as atitudes de um decisor face a uma situação de decisão Keeney (Keeney, 1988) aconselha o decisor a pensar primeiramente sobre os seus valores, para em seguida listar os seus desejos em relação ao contexto da decisão (Guitouni et al.,1998). Identificados os objetivos, cabe agora examinar o seu conteúdo. Com isso, os valores do decisor seriam identificados pelo questionamento do significado e da razão de cada objetivo. Se os objetivos estão incompletos, ou não definidos claramente, a avaliação das alternativas provavelmente não será tão útil.

Embora alguns aspectos positivos possam ser identificados na abordagem de Keeney (Keeney, 1988), tais como enfoque nos valores, a identificação de oportunidades, guia para um pensamento estratégico, melhor comunicação, maior entendimento e envolvimento entre decisores múltiplos, entende-se que esta falha em alguns pontos, desde que as hipóteses de ação são prescritas pelo analista e a interação com o decisor fica limitada à estruturação do problema. Em primeiro lugar há o problema do que o facilitador deve fazer quando um ator manifestar o seu desacordo com as hipóteses que ele lhe apresentou. Outra dificuldade é relativa à forma de testar com os atores a aceitabilidade das hipóteses, como o ator pode sentir se elas são viáveis ou não.

No início dos anos 70, uma nova fase do processo de apoio à decisão "começou a tomar forma e a organizar-se na comunidade científica, antes dispersa, interessada pelo 'domínio do multicritério' a partir da célebre conferência de Outubro de 1972 na Universidade da Carolina do Sul, organizada por James L. Cochrane e Milan Zeleny", (Bana e Costa et al., 1997).

Desta maneira, nasceram paralelamente duas correntes científicas de apoio à tomada de decisão. Entretanto, as duas concordavam, que para tomar uma decisão que se aproximasse o mais possível da realidade (racionalidade), era necessário considerar outros valores além dos econômicos-financeiros.

"... uma justificativa para aqueles fatos associados à diversidade de origens científicas dos pioneiros do multicritério,..., com a sua necessidade de fazer aceitar novos princípios metodológicos num meio científico na época dominada pelos postulados do decisor racional, do ótimo e, também, do quantitativo, clássicos em Investigação Operacional..., a

'incompreensão', mais do que uma competição fratricida, que se instalou, nomeadamente entre a perspectiva decision making da Escola Americana da utilidade multi-atributo e a corrente aide à la décision' da Escola Francesa. A primeira, fundada sobre os princípios axiomáticos decorrentes da obra de Von Neumann et al. (1953), fica a meio caminho ao pôr em causa aquele postulado, enquanto a escola francesa encontra na rejeição destes postulados a sua própria *raison de ser*... Mais recentemente, e de forma ainda algo tímida, uma nova perspectiva de integração tem vindo pouco a pouco se revelar ..." (Bana e Costa et al., 1997).

O que se observa mais claramente agora, é que há duas escolas básicas no tocante a metodologias multicritérios. De um lado a escola americana, que defende mais os modelos descritivista/prescritivista, enquanto que a escola europeia adota o modelo construtivista.

## **2.2 As Características da Escola Europeia**

Um dos principais elementos balizadores da atuação dos trabalhos na área de apoio à decisão é o reconhecimento de que as decisões trazem em si, resultados da cognição inerentes aos valores dos decisores.

Roy e Vanderpooten, em (Roy et al., 1997), ressaltam alguns aspectos que deixam clara a limitação da adoção da objetividade nos processos decisórios. Estes fatores caracterizam-se principalmente pela considerável interação existente entre os elementos objetivos e os subjetivos em um processo decisório. Os autores consideram impossível negar a importância dos fatores subjetivos e deixá-los à parte na tentativa de utilizar uma abordagem inteiramente objetiva e, que esta é a ideia subjacente à pesquisa e aplicações no apoio à decisão multicritérios.

Também subjacente a estas idéias, na atuação da Escola Européia, está a concepção de uma abordagem participativa e construtiva na construção e modelos. Estes devem permitir exploração dos elementos subjetivos aos valores dos decisores na construção de recomendações passíveis de atender às suas expectativas em relação aos problemas.

Tomar o caminho do construtivismo consiste em considerar conceitos, modelos, procedimentos e resultados como *chaves* capazes (ou não) de abrir certos bloqueios o que provavelmente os tornaria apropriados para organizar ou impor desenvolvimento a uma situação. Os conceitos, modelos e procedimentos são vistos aqui como ferramentas justificáveis para desenvolver convicções com referência às quais existe o processo de comunicação na análise. A meta não é descobrir uma verdade existente, externa aos atores envolvidos no processo, mas construir um "conjunto de chaves" o qual abrirá as portas para os atores e os permitirá proceder, para progredir em concordância com seus objetivos e sistemas de valor.

Os esquemas de representação multicritérios, desenvolvidos nos processo de apoio à decisão são úteis para clarificação e estruturação do problema. Estes esquemas dão suporte a investigação, comunicação, reflexão, negociação e criação.

### **2.3 As características da Escola Americana**

A escola americana defende mais os modelos descritivistas/prescritivista, enquanto que a escola européia adota o modelo construtivista. Esta convicção tem obviamente uma influência fundamental sobre a fase de estruturação e avaliação porque são guias comportamentais do facilitador permeando todo o processo de apoio à decisão (Bana e Costa et al., 1997). Schmidt (1995) descreve a fundamentação da escola americana,

caracterizando-a no modelo de agregação da teoria das Escolhas Sociais (Arrow, 1963), e nos métodos desenvolvidos no centro da Teoria da Utilidade Multiatributo (Fisburn, 1970; Keeney e Raiffa, 1976), que usa os princípios axiomáticos de (Von Neumann et al., 1953).

Suas principais metodologias são a Analytic Hierarchy Process (AHP), desenvolvido por Saaty (1980), é um modelo de resolução de problemas que usa a decomposição para dividi-lo em partes, no intuito de comparar aos pares as partes. Basicamente segue três princípios: decomposição, comparação e síntese.

Roy e Vanderpooten citam o método Measuring Attractiveness by a Categorical Based Technique (MACBETH) desenvolvido por Banna e Costa et al. (1997), que se caracteriza pela construção de funções de valor construídas a partir de julgamentos relacionados à atratividade entre alternativas. Uma função de valor é então derivada e ajustada utilizando-se uma série de programas lineares.

#### **2.4 A semelhança de atuação entre a Escola Européia e a Escola Americana**

A atuação da Escola Européia se difere da linha de pensamento da Escola Americana, que também explora os elementos subjetivos na definição dos problemas, porém, não os utiliza de forma completamente partilhada na busca do conhecimento sobre o problema.

Esta diferença caracteriza duas posturas de atuação nos processos decisórios: o *apoio* à decisão da Escola Européia, baseado na conduta construtivista, e a *tomada* de decisão da Escola Americana, que assume uma linha mais prescritiva.

Mesmo percebidas as divergências, Roy, em (Roy et al., 1997), descreve algumas semelhanças entre o "Multiple Criteria Decision Making" da Escola Americana e o "Multiple Criteria Decision Aid" da Escola Européia:

1) O significado e o papel dos resultados axiomáticos. Os axiomas não devem ser vistos como normas rígidas a seguir, orientando a busca de um ideal. Podem servir como complemento na elaboração de hipóteses de trabalho para construção de recomendações. Para elaborar uma recomendação em uma abordagem construtivista, não se deve esperar que alguns resultados axiomáticos farão crer que estes serão os meios de alcançar a verdade.

2) A elaboração de uma metodologia orientada para inserção no processo decisório. Isto implica basicamente em três resultados:

- i) na introdução do conceito de ações fragmentadas as quais permitem levar em conta ações potenciais que normalmente não são consideradas como alternativas por não serem mutuamente exclusivas;
- ii) na importância atribuída à maneira pela qual uma família de critérios é construída, pois esta pode tornar-se um instrumento de comunicação entre os atores envolvidos no processo decisório;
- iii) no interesse devotado às problemáticas (especialmente seleção, escolha e ordenação), relacionando-se essencialmente com a maneira pela qual o processo de decisão deve ser pensado e implementado com o objetivo de estar devidamente ajustado ao processo decisório.

3) A atenção devotada às fontes de imprecisão, incertezas e mal determinação. Os instrumentos geralmente utilizados para avaliar as conseqüências potenciais de alternativas não apresentam informações precisas. A Escola Americana utiliza funções probabilísticas para lidar com informações imprecisas ou funções de utilidade para manipular dados ordinários. Os autores consideram que estes conceitos não são apropriados e portanto preferem a utilização de outros conceitos como limites de indiferença, preferência e rejeição, níveis de aspiração, níveis de concordância e discordância, etc;

4) O uso de um largo espectro de modelos de preferência. Dadas as considerações anteriores e o fato de o decisor nem sempre estar bem identificado em uma única pessoa e, suas preferências não estarem completamente formadas e acessíveis, é razoável dissociar a idéia de que os modelos devam representar de forma completa e exata as preferências, idéias e preconceitos do decisor. Para os autores os modelos não podem ser vistos como uma descrição simplificada da realidade, mas sim, como um esquema construído para representar algumas convicções básicas ou posições, cujo objetivo é fornecer sugestões para respostas a questões pertinentes ao apoio à decisão;

5) A caracterização do papel específico devotado a cada critério. Cada um dos critérios que constituem o modelo de avaliação possui diferentes papéis e geralmente diferentes graus de importância que são caracterizados por parâmetros como taxas de substituição, pesos, constantes escalares e limites e rejeição. O objetivo é escolher valores não necessariamente únicos para cada parâmetro;

6) O estudo de procedimentos interativos. Um procedimento interativo, usado de forma apropriada pode desempenhar um papel fundamental na condução do processo decisório. Muitos procedimentos interativos têm sido propostos, seja fora ou dentro do espírito da Escola Européia, mas pouco têm sido posto em prática. É necessário verificar certas condições para que este tipo de procedimento seja devidamente implementado. Estas condições estão relacionadas com aspectos organizacionais, habilidades requeridas para o usuário, o papel da interação, etc. Sob estas condições enfatiza-se que para a Escola Européia, os métodos que procuram a convergência a uma solução ótima pré-existente, não exercem um papel decisivo;

7) O uso sistemático de análise de robustez. A análise de robustez é feita para dar suporte as recomendações. Pode haver valores definidos de forma precipitada, incertezas quanto ao impacto das alternativas ou até sistemas de valores que não foram devidamente partilhados. A análise de robustez deve servir então como base de confirmação das conclusões estabelecidas. Com o objetivo de apreciar a robustez de certas conclusões, pode ser útil estudar a sensibilidade da posição de uma alternativa de ação em determinado ranking de ordenação, em relação a valores de determinados parâmetros.

Uma série de abordagens com diferentes caminhos de formulação e estruturação desenvolvidas na Escola Européia que seguem os princípios até então discutidos.

A primeira literatura dedicada a dar uma visão de vários procedimentos de agregação foi feita por Roy et al. (1976) e um dos primeiros livros dedicados à análise multicritério foi escrito por Guigou. (1974). Em 1975 o grupo EURO conference foi criado com o intuito de

ter dois encontros anuais. Em 1984 o grupo ESIGMA, conhecido como escola européia, foi criado (Roy et al., 1997).

## **2.5 Linhas metodológicas de área**

Com o passar dos anos muitas pesquisas e metodologias foram desenvolvidas de modo mais específico e detalhado. Essas pesquisas estavam voltadas essencialmente para a elaboração de critérios de agregação e pouco se dedicavam à elaboração de modelos de estruturação dos problemas.

A partir da diversificação das pesquisas evidenciou-se a criação de três linhas dentro do assunto "Metodologias Multicritério de apoio à Decisão": as abordagens de subordinação (*outranking* na literatura inglesa); os métodos iterativos; e as abordagens de agregação a um critério único de síntese.

Bana e Costa et al. (1999) citam como métodos de subordinação: QUALIFLEX (Paelinck, 1978), ORESTE (Rubens, 1982; Pastign e Leysen, 1989), MELCHIOR (Leclerc,1984), PROMETHEE (Brans et al.,1984, 1986; Brans e Vincke, 1985), TACTIC (Vansnick, 1986) MAPPAC e PRAGMA (Matarazzo et al., 1991, 1998), N-TOMIC (Massagila e Ostanello, 1991) e ELECCALC (Kiss *et al.*, 1994) e também: ELECTRE I - ELECTRE II - ELECTRE III -ELECTRE IV.

Dentro da linha iterativa encontramos uma visão geral em (Jaszkievicz e Slowinski,1999), onde são citados alguns trabalhos desenvolvidos na Escola Européia. (Roy e Vanderpooten,1997) citam como métodos de agregação: o método UTA (Jacquet-Lagrèze e Siskos, 1982), PREFCALC (Jacquet-Lagrèze e Shankun, 1982; Jacquet-Lagrèze et al., 1987; Jacquet-Lagrèze, 1990), UTASTAR (Siskos e Yannacopoulos, 1985),

MINORA (Siskos, 1986), AHP (*Analytic Hierarchy Process*, (Saaty, 1980)) e o MACBETH (*Measuring Attractiveness by Categorical Based Technique*, (Bana e Costa e Vansnick 1994, 1997)).

Apesar de algumas diferenças dos métodos os avanços na forma de estruturar o problema, tratar as incertezas e imprecisões, identificar e construir alternativas podem ser utilizados por todos que praticam o apoio à decisão multicritério.

Em (Ensslin, 1996) encontramos a descrição de várias formas desenvolvidas para estruturar um problema, tais como o SSM (*Soft System Methodology*), *Strategic Assumption Surfacing and Testing*, *Strategic Options Development and Analysis – SODA* e o "approach" *Strategic Choice Approach -SCA*. As dificuldades encontradas ao se tentar modelar o problema fazem da estruturação uma arte que requer experiência e percepção. No esforço de estruturar, os cientistas limitam-se a uma formulação restrita do problema, que geralmente não é o real problema. Assim como o "mapa" não é o "território", e todos os modelos são simplificações da realidade, e estas simplificações introduzem no mesmo uma importante fonte de arbitrariedades. Além das simplificações, o processo usado para estruturar valores e para determinar taxas de substituição é de grande importância para o resultado final. Uma boa decisão não pode garantir um bom resultado. Todas as decisões são imprecisas e feitas sob incerteza. São várias as fontes de imprecisão ou de incerteza (Esslin, 1996):

- o futuro não é o presente, as ações serão implementadas no futuro. As alternativas não são totalmente especificadas no momento do estudo ;

- os decisores não são confrontados com problemas que são independentes uns dos outros, mas com situações dinâmicas que consistem de um sistema complexo de tratar problemas que interagem uns com os outros;
- o modelo não é uma descrição de uma entidade real independente de quem o constrói; o processo de questionamento usado para obter o sistema de preferência tem grande influência nos resultados ;
- em metodologias ancoradas em valores, estes são medidos através de valores específicos (de baixo nível) o suficiente para servirem como fonte de medida para julgamento, e os dados podem não resultar de uma mensuração exata; em metodologias ancoradas em ações a comparação entre ações tende a ser insuficientemente precisa .

Em (Kwak, 1998) são relatadas várias formas de identificar e construir alternativas, que é uma parte extremamente importante no processo decisório. As primeiras alternativas que vêm em mente são alternativas óbvias. As criativas permanecem escondidas na mente e não emergem de uma simples agitação. A literatura está repleta de estudos que mostram que, mesmo nas circunstâncias mais favoráveis, os decisores enfocam um pequeno subgrupo de alternativas. Pode ser muito importante criar alternativas não disponíveis. A criatividade necessária para gerar novas alternativas tem sido negligenciada em muitos trabalhos de pesquisa. O processo de escolha pode tornar-se muito difícil sem um conjunto relevante de alternativas. O uso de modelos de valores tem sido considerado razoável no que tange à geração de opções. Segundo Keeney em Kwak, isto ocorre porque as alternativas podem ser vistas como meios de atingir valores. Muitas pesquisas continuam

sendo feitas com especial dedicação às fontes de imprecisão, incerteza e indeterminação capazes de interferir no modelo de preferências, tentando administrá-las e incorporá-las ao processo decisório.

Os modelos formais (modelos matemáticos) utilizados no apoio à decisão são, regra geral, caracterizados por múltiplos parâmetros. Uma situação de informação precisa ocorre quando os decisores conseguem indicar um valor preciso para cada parâmetro do modelo. Contudo, surgem quase sempre dificuldades em obter valores precisos para todos os parâmetros:

- O desempenho das ações em avaliação segundo cada critério pode ser desconhecido na altura da análise (incerteza acerca do futuro), pode resultar da agregação de múltiplos aspectos tidos em conta por esse critério (que envolve alguma arbitrariedade) e pode resultar de estatísticas ou instrumentos de medida (que geramente introduzem erros de medida).
- Outros parâmetros refletem valores ou preferências dos decisores, que estes podem considerar difíceis de expressar, seja porque consideram difícil atribuir-lhes um valor numérico preciso, seja porque preferem não os divulgar; inclusivamente, podem evoluir ao longo do processo de decisão.
- Em situações de decisão com múltiplos decisores, é frequente que existam divergências de opinião ou de preferência entre os mesmos.

Em alternativa, os decisores podem fornecer apenas aquilo a que chamaremos informação imprecisa (expressão utilizada por Miettinen e Salminen, 1999). Tal informação

caracteriza-se por não conduzir a uma combinação de valores precisos para os parâmetros. Outros autores utilizam outras designações: informação incompleta, informação parcial, ou informação pobre. Uma designação alternativa seria ainda informação não-pontual.

Os modelos de decisão com informação imprecisa generalizam os modelos em que se consideram vários "cenários" para o valor dos parâmetros, bem como os modelos em que se atribui um intervalo de valores para cada parâmetro. Nesses modelos define-se um conjunto  $T$  de múltiplas combinações aceitáveis de valores para os parâmetros, isto é aquelas compatíveis com a informação imprecisa conhecida em determinado instante do processo de decisão. O conjunto  $T$  poderá ser discreto, contendo um número finito de "cenários", ou poderá ser contínuo, podendo estabelecer intervalos para o valor dos parâmetros e incluir restrições adicionais que inter-relacionem os mesmos (isto é, o valor do parâmetro  $x$  não pode exceder o valor do parâmetro  $y$ ).

Muitas pesquisas continuam sendo feitas com especial dedicação às fontes de imprecisão, incerteza e indeterminação capazes de interferir no modelo de preferências, tentando administrá-las e incorporá-las ao processo decisório. A tomada de decisão multicritério introduziu um promissor e importante campo de estudo no início de 1970. Desde então o número de contribuições em teoria e modelos, são usados para realizar de forma racional e sistemática tomadas de decisão com múltiplos critérios. Um grande número de artigos, mostram a força do assunto, como também o grande número de métodos. Quando Bellman e Zadeh, e vinte anos atrás Zimmermann, introduziram conjuntos fuzzy neste campo, ficou claro o modo para a nova família de métodos em problemas não solucionáveis com técnicas normais de MCDM. Finalmente existem muitas variações de temas MCDM dependendo da base teórica usada na modelagem. (Karsa e Zeleny, 2001)

divide estes métodos em multi-atributos e multi-objetivos, denominando-as da seguinte maneira:

- Teoria da utilidade multi-atributos (MAUT).
- Programação linear multi-objetivo (MOLP)

## Capítulo 3

### Os métodos ELECTRE I e a Programação de Compromisso

---

#### 3.1 Introdução

Nesta dissertação foram utilizados os métodos multicritérios e programação linear. A técnica de pesquisa operacional denominada Programação Linear é usada para determinar quais as máximas áreas irrigadas que podemos obter com as vazões liberadas. No âmbito decisório utilizamos as técnicas de análise multiobjetivo seguintes:

- 1) O método ELECTRE I (ELimination Et Choix Traduisant la REalité), como exemplo de técnica com manifestação antecipada de preferências,
- 2) O método Programação de Compromisso, como exemplo de técnica com articulação progressiva de preferências.

As justificativas para a escolha das técnicas utilizadas são as seguintes:

- a) O método ELECTRE I foi escolhido em virtude do baixo número de alternativas disponíveis, tipo e número reduzido de critérios.
- b) O Método de Programação de Compromisso, por ser uma técnica bastante simplificada em termos matemáticos e para verificação da eficácia diante de problemas multiobjetivo complexos.

## 3.2 O Método ELECTRE I

### 3.2.1 Descrição do método

O método ELECTRE foi concebido para uma abordagem multiobjetivo, podendo ser aplicado na solução de problemas de gestão de recursos hídricos, caracterizados por alternativas avaliadas por critérios preferencialmente qualitativos, com fixação prévia das preferências, por parte dos decisores.

Essa técnica também pode ser usada para variáveis contínuas, sob critérios quantitativos, ou para situações mistas.

A metodologia desenvolvida por BENAYOUN et. al. (1969) e ROY (1971), sustenta-se em três conceitos fundamentais: concordância, discordância e valores-limite (“outranking”), utilizando um intervalo de escala no estabelecimento das relações-de-troca na comparação aos pares das alternativas.

O método baseia-se na separação do conjunto das alternativas da solução, daquelas que são as preferidas na maioria dos critérios de avaliação, sem causar um nível de descontentamento inaceitável para qualquer um dos critérios fixados.

A partir da matriz de avaliação, as alternativas são comparadas, aos pares, com base em relações de preferência.

$a > b$  significa que a alternativa a é preferida à alternativa b

$a = b$  significa que a é equivalente à b

É importante ressaltar que o processo admite a intransitividade nas relações de preferência, com base no fato de que os critérios de estabelecimento das preferências podem ser diferentes.

A concordância entre duas alternativas  $i$  e  $j$  é uma medida ponderada do número de critérios sob os quais a alternativa  $i$  é preferida ou equivalente à alternativa  $j$ .

O índice de concordância é calculado pela seguinte fórmula:

$$C(i, j) = \frac{\sum [w(k') + 1/2w(k'')] }{\sum w(p)} ; 0 \leq C(i, j) \leq 1.$$

Sendo:

$w(k')$  = pesos dos critérios sob os quais  $i > j$

$w(k'')$  = pesos dos critérios sob os quais  $i = j$

$w(p)$  = pesos de todos os critérios

Para maior clareza, os índices de concordância são apresentados na forma de uma matriz de concordância, onde  $C(i, j)$  representa o elemento da linha  $i$  e coluna  $j$ , ou seja, a satisfação que o decisor sente ao preferir a alternativa  $i$  frente à alternativa  $j$ , sob certo critério.

O índice de discordância  $D(i, j)$  representa o desconforto sentido pelo decisor ao escolher a alternativa  $i$  frente à alternativa  $j$ .

Para o estabelecimento da matriz de discordância, inicialmente é definida uma escala numérica comum para todos os critérios, sendo que cada critério deve ter um intervalo de escala diferente. A escala é usada para comparar o desconforto causado entre o menor valor numérico (pior escolha) e o maior valor numérico (melhor escolha) de cada critério para cada par de alternativas.

Essa escala comum é usada para medir o desconforto que o decisor sente ao preferir a alternativa  $i$  à alternativa  $j$ , considerados todos os critérios.

O maior valor da escala numérica comum define o critério sob o qual o decisor sente o maior desconforto ao mudar de nível, quando estabelece seu juízo de valor, em termos de preferência manifesta.

O índice de discordância é calculado como segue:

$$D(i, j) = \max \{ [Z(j, k) - Z(i, k)] / R^* \}$$

$$K \in (j > i)$$

Sendo:

$(j > i)$  conjunto no qual a alternativa  $j$  é preferida à alternativa  $i$

$k$ : os critérios sob os quais  $j > i$

$Z(j, k)$ : a avaliação da alternativa  $j$  sob o critério  $k$

$Z(i, k)$  a avaliação da alternativa  $i$  sob o critério  $k$

$R^*$  : o maior valor numérico dos intervalos de escala.

Os índices de discordância também são apresentados na forma de uma matriz de discordância, onde  $D(i, j)$  representa o elemento da fila  $i$  e coluna  $j$ , ou seja, o desconforto experimentado pelo decisor ao optar pela alternativa  $i$  frente à alternativa  $j$  sob um determinado critério.

Sintetizando, os valores entre um e zero ( $p, q$ ), contidos nas matrizes de concordância e discordância, são determinados pelos decisores ao avaliarem as alternativas, aos pares, sob os critérios de análise fixados.

Assim, tem-se que  $p = 1$  significa concordância plena, quando a alternativa  $i$  é preferida à alternativa  $j$  sob todos os critérios. (na matriz de concordância).

A condição  $q = 0$  significa sem discordância (na matriz de discordância).

Uma vez definidas as matrizes de concordância e discordância, passa-se para uma segunda fase, conforme já foi referido, fixando-se valores limites para  $p$  (índice mínimo de concordância) e  $q$  (índice máximo de discordância).

Por meio desse procedimento, conhecido como filtragem, separam-se as alternativas não dominadas que atendem, simultaneamente, os limites fixados para  $p$  e  $q$ , mas sem a classificação dessas.

Essa seleção preliminar das alternativas de maior atratividade, a partir da fixação dos valores limites para  $p$  e  $q$ , pode ser representada graficamente, através dos símbolos e terminologia que seguem:

3

representa uma alternativa, na forma de nó.

→ indica dominância de uma alternativa sobre a outra, em termos de preferência.

O conjunto reduzido das alternativas não-dominadas, conhecido como núcleo obtido pela filtragem, é extraído do gráfico, observando-se as seguintes condições:

1. Uma alternativa selecionada não pode dominar outra também selecionada;
2. Cada alternativa dominada (não selecionada) deve ser dominada, pelo menos, por uma das alternativas selecionadas.

No gráfico do método ELECTRE I, mostrado abaixo como ilustração, o conjunto das alternativas de maior atratividade é constituído pelas opções 1, 3 e 5.

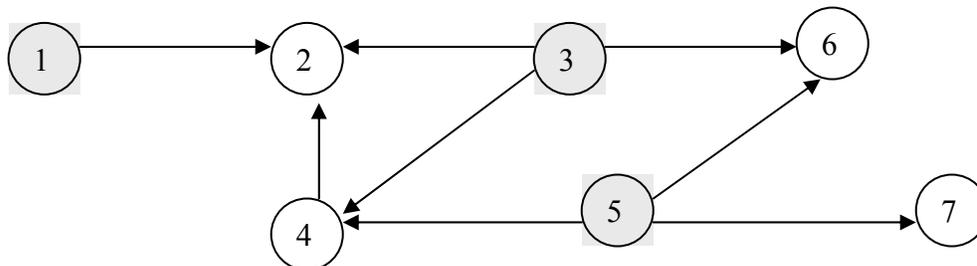


FIGURA 3.1: Gráfico do método ELECTRE

O processo de escolha das alternativas se baseia na fixação de valores mais estritos para  $p$  e  $q$ . Isso depende de um aumento na rigidez, ou relaxamento maior por parte dos decisores, em termos de julgamento das alternativas sob os critérios fixados e na forma das preferências manifestadas, como, por exemplo:

Para preferência forte: (PF)

$p = 0,9$  índice mínimo de concordância

$q = 0,2$  índice máximo de discordância

Para preferência fraca: (Pf)

$p = 0,7$

$q = 0,5$

Os critérios para a fixação dos parâmetros  $p$  e  $q$ , com base na estrutura de preferências de cada problema multiobjetivo, são de livre escolha dos decisores que podem para isto fazer uso da estatística ou da experiência pessoal.

### **3.3 Método da Programação de Compromisso**

#### **3.3.1 Descrição do método**

O método da Programação de Compromisso caracteriza-se por ser um processo iterativo, geralmente com o estabelecimento progressivo das preferências por parte do decisor, até que seja atingida uma solução satisfatória. Há situações em que os pesos dos critérios de avaliação decorrem da estrutura do problema.

O método classifica as alternativas não dominadas através de um conceito geométrico do melhor, por meio de uma medida de distância até a solução ideal.

Dada a matriz de avaliação das alternativas de solução do problema, segundo os critérios estabelecidos, a solução ideal pode ser definida como o vetor  $Z_i^* = (Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_3^*)$ , no qual as funções  $Z_i^*$  são as soluções do problema:

$$\text{máx } Z_i(x),$$

$$\text{sujeito a: } x \in X \text{ e } i = 1, 2, \dots, p$$

onde :

$x$  é o vetor de decisões,

$p$  o número de critérios,

$X$  o conjunto das soluções viáveis e

$Z_i(x)$  a função-objetivo para o critério  $i$ .

A *solução ideal* é, geralmente, inatingível (por pressupor a solução ótima para todos os objetivos através de uma alternativa) e serve como padrão de referência no processo de classificação das soluções *não-dominadas*. Essa classificação é obtida pela determinação da proximidade de cada alternativa *não-dominada* com relação à solução ideal.

Uma das medidas de proximidade mais usadas é a que segue:

$$L_i = \left\{ \sum_{i=1}^p \alpha_i^s [z_i^* - z_i(x)]^s \right\}^{\frac{1}{2}}$$

onde:

$1 \leq s \leq \infty$  e  $i$ , índices dos pesos dos critérios, fixados subjetivamente pelos decisores, ou derivados da estrutura de preferências decorrentes do problema .

A solução de compromisso  $x_s$  para um dado  $s$  é:

$$\text{Min } L_s(x) = L_s(x^*)$$

sujeito a:  $x \in X$

O termo  $[Z_i^* - Z_i(x)]$  é uma medida de desvio da solução ideal.

Na Figura 3.2, vê-se uma ilustração gráfica do método.

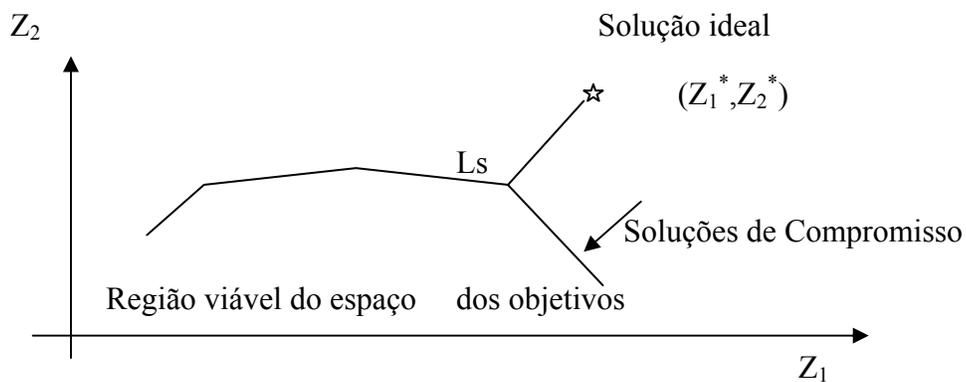


FIGURA 3.2: Representação gráfica da solução ideal e das soluções de compromisso

A determinação do conjunto das soluções de compromisso é obtida resolvendo-se a função acima para valores dados aos pesos  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$  e para  $1 \leq s \leq \infty$  .

Operacionalmente, são calculados três pontos do conjunto das soluções de compromisso, correspondentes a  $s = 1, 2$  e  $\infty$ .

Para pesos iguais à unidade:  $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_p = 1$

Fazendo  $w_i = Z_i^* - Z_i(x)$ , temos:

Para  $s=1$  e  $w_i^{s-1} = 1$ , tem-se:

$$L_S = L_1 = \sum_{i=1}^p [Z_i^* - Z_i(x)]$$

Ou seja, todos os desvios, com relação à solução ideal, têm o mesmo peso na determinação de  $L_S$ .

Para  $s = 2$ :

$$L_S = L_2 = \sum_{i=1}^p w_i [Z_i^* - Z_i(x)]$$

Ou seja, cada desvio com relação à solução ideal, tem como peso sua própria magnitude.

À medida que se aumenta  $s$ , os desvios maiores recebem cada vez mais importância.

Para  $s = \infty$ , temos  $L_s = L_\infty = \max [Z_i^* - Z_i(x)]$  para todo  $i$

Conclui-se que a escolha de  $s$  reflete a importância que os decisores dão aos desvios máximos. Quanto maior o valor dado a  $s$ , maior a importância. Há, pois, um duplo esquema de pesos.

O parâmetro  $s$  reflete a importância dada aos desvios máximos e o parâmetro  $\alpha_i$ , reflete a relativa importância do critério  $i$ . Assim tem-se:

$$L_\infty = \max \alpha_i [Z_i^* - Z_i(x)]$$

Uma análise de sensibilidade pode ser realizada, variando-se os parâmetros  $s$  e  $\alpha$ .

Quando nem todas as funções-objetivo são expressas em termos comensuráveis, pode-se usar uma função linear de escala, com intervalo  $(0,1)$ , para cada função-objetivo, normalizando os desvios.

$$S_i(D_i) = \frac{Z_i^* - Z_i(x)}{Z_i^* - Z_i^{**}}$$

onde  $Z_i^{**}$  é definida como  $Z_i^{**} = \min Z_i(x)$  sujeito a:  $x \in X$   $i=1,2, \dots, p$

Para problemas multiobjetivo com alternativas de solução discretizadas. faz-se:

$Z_i^*$  o conjunto dos melhores valores das funções-objetivo

$Z_i^{**}$  o conjunto dos piores valores das funções-objetivo

A solução de melhor compromisso é caracterizada pelo vetor dos melhores valores alcançados em cada critério da matriz de avaliação.

Ou seja:

$$L_s(x_s^*) = \min L_s(x_s) = \min \left\{ \sum_{i=1}^p \alpha_i \left[ \frac{Z_i^* - Z_i(x)}{Z_i^* - Z_i^{**}} \right]^s \right\}^{1/s}$$

Da mesma forma, a pior solução será considerada aquela dada pelo vetor dos piores valores da matriz de avaliação.

Finalmente, com estes valores e os parâmetros  $s$  e  $\alpha$ , calcula-se a distância de cada alternativa até a solução ideal. A alternativa que apresentar a menor distância é a solução de melhor compromisso.

Como já foi referido, a Programação de Compromisso é um método iterativo. Quando os decisores se derem por satisfeitos, o algoritmo acaba. Caso contrário, variam-se

os pesos dos critérios e o parâmetro  $s$ , por via de consequência as soluções ideais, processando-se novamente o algoritmo, até que seja encontrada uma solução satisfatória para os decisores.

Na prática, a solução de compromisso para  $s = \infty$ , pode ou não ser uma solução não-dominada em um ponto extremo. Para determinar a solução de compromisso para esse limite, utiliza-se um número elevado.

## Capítulo 4

### Uma Aplicação à Bacia do Curu

---

#### 4.1 Introdução

A Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e os Planos Estaduais de Recursos Hídricos e Planos Diretores de Bacias Hidrográficas trouxeram uma nova forma de enfocar as questões ligadas à Gestão das Águas.

A implantação dos Comitês de bacias propiciou a democratização das decisões com tomada de decisão em grupo, exigindo a consideração de aspectos ambientais, culturais, técnicos, sociais e econômicos.

As decisões democráticas realizadas através de Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas são relativamente novas no Brasil, e ainda estão em fase de implantação, o que acarreta na falta de uma maior maturidade nos processos decisórios em grupo, aliado a isto está a complexidade das ações, e a necessidade do atendimento das exigências que visam à obtenção de um desenvolvimento sustentável.

Existem vários fatores que tornam o processo decisório complexo como o atendimento ao uso múltiplo das águas, a subjetividade de alguns agentes envolvidos, as incertezas dos eventos hidrológicos, dos processos econômicos, sociais e ambientais, como também a consideração de aspectos de difícil mensuração, como o bem estar social, a

preservação do ambiente, as questões culturais e estéticas, e a consideração dos aspectos econômicos.

Ao analisar os relatórios das reuniões realizadas desde a fundação do Comitê da Bacia do Curu, no estado do Ceará, além de participar de uma delas, constatamos a dificuldade do processo decisório, desde o desnível técnico e social entre os participantes, até a diversidade de interesses e a falta de um sistema de informação adequada que forneça dados confiáveis sobre a projeção dos impactos causados pelas possíveis decisões tomadas sobre os diversos fatores envolvidos no processo. As decisões tomadas são restritas apenas a que vazões devem ser liberadas pelos açudes componentes da bacia no intuito da regularização do rio, propiciando o uso múltiplo das águas, atendendo, na medida do possível, às vazões requeridas pelos outorgantes e pelo órgão responsável pelo abastecimento da água à população, sem um estudo mais aprofundado sobre as conseqüências desta decisão.

Existe então a necessidade de um sistema de apoio à decisão que permita a análise dos diversos aspectos envolvidos no processo, e que permita uma decisão em grupo de forma democrática, sendo este o princípio básico da criação dos Comitês de gerenciamento. Em virtude da existência de várias alternativas e critérios, as técnicas de apoio à decisão multicritérios são as mais recomendadas para viabilizar decisões racionais e que possa projetar cenários futuros. Foi desenvolvido, então, um sistema de apoio à decisão que engloba duas técnicas multicritérios que permitem ajudar no processo de tomada de decisões nos Comitês. Estes métodos foram aplicados e comparados em um estudo de caso, para suporte à decisão ao Comitê da Bacia do Curu, tendo como objetivo o desenvolvimento sustentável, e o atendimento das necessidades múltiplas do uso das águas.

O objetivo deste capítulo é apresentar através de um estudo de caso, técnicas de apoio à decisão que podem ser facilmente entendidas, implementadas e operadas pelos componentes dos Comitês, permitindo a eficiente inclusão de aspectos de difícil mensuração, através de escalas e medidas adequadas para cada uma das novas variáveis que passam a ser admitidas no processo decisório.

No caso, estudadas as alternativas, são possíveis vazões oriundas de simulações executadas pelo órgão gestor, e critérios que representam os impactos resultantes da escolha da alternativa valores obtidos usando programação linear, ou provenientes da eleição do grau de preferência dos participantes do Comitê. Foram escolhidos entre diversas técnicas os métodos ELECTRE, (BENAYOUN et. al., 1969, e ROY, 1971), e Programação de Compromisso (ZELENY, 1973).

Tanto o método ELECTRE I, quanto o de Programação de Compromisso, permitem a decisão em grupo e a introdução de fatores subjetivos.

## **4.2 Descrição da Bacia**

A Bacia Hidrográfica do Rio Curu, localizada na região do semi-árido do Ceará, é composta por 15 (quinze) municípios, a saber, Itatira, Canindé, Caridade, Paramoti, General Sampaio, Tejuçuoca, Apuiarés, Pentecoste, Paraipaba, São Gonçalo do Amarante, Paracuru, São Luís do Curu, Umirim, Itapajé, Irauçuba, compreendendo uma extensão territorial de 8.527Km<sup>2</sup>, que corresponde aproximadamente a 6% do território cearense.

O seu rio principal é o Curu, que nasce na região montanhosa formada pelas Serras do Céu, Imburana e do Lucas, percorrendo 195Km, das nascentes até a sua foz. Os

principais afluentes do rio Curu são os rios Caxitoré e Canindé. Desenvolve-se no sentido sudoeste-nordeste com um comprimento máximo de 160km, tendo a forma de um losango grosseiro, estrangulado na parte norte, com ápice setentrional na cidade de Paracuru (no litoral Atlântico) e meridional na Serra do Machado.



Figura 4.1: Bacia do Curu

A Bacia do Rio Curu conta com uma capacidade máxima de armazenamento de 1.062.362.014 m<sup>3</sup> de água distribuída entre seus 12 (doze) açudes monitorados pela COGERH. É uma das mais exploradas do estado, tanto no aspecto hidrológico, com seus principais rios barrados por grandes açudes públicos, como no aspecto hidroagrícola, devido à existência de projetos públicos e privados de irrigação, cuja área supera os 7.000 ha.

Apresenta um clima tropical semi-árido, com a precipitação média de 1000 mm. A estação chuvosa é de fevereiro a maio, sendo o trimestre setembro-novembro o mais seco do ano. Tem temperatura média anual de 27°C e umidade relativa de 75%.

### **4.3 Os Recursos Hídricos Superficiais**

Devido ao caráter intermitente dos cursos d'água da bacia, os recursos hídricos superficiais disponíveis no período de estio são as águas acumuladas nos reservatórios.

A bacia do rio Curu é no momento, entre as grandes bacias do Estado, a que apresenta maior índice de controle, atingindo 76% da sua área de drenagem, através de seus três maiores reservatórios públicos: General Sampaio, Pereira de Miranda e Caxitoré.

Na bacia do Curu foram construídos também três pequenos reservatórios públicos que são os açudes de São Mateus (10x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>), Salão (6x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) e São Miguel (1,5x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) e um grande número de pequenos barramentos particulares, sem nenhum controle pelos órgãos públicos e que podem vir num futuro próximo, a reduzir substancialmente os volumes afluentes aos reservatórios públicos da região.

Tabela 4.1 – Relação dos Principais Reservatórios Públicos da Bacia do Curu.  
 Fonte: COGERH

Açude	Município	Capacidade (m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> ) em 06/2001
Pentecoste	Pentecoste	395.638.000	134.231.979
G. Sampaio	General Sampaio	322.200.012	39.378.780
Caxitoré	Pentecoste	202.000.000	43.959.991
Frios	Umirim	33.020.999	29.087.000
Tejuçuoca	Tejuçuoca	28.117.000	7.921.605
Caracas	Canindé	9.637.000	277.400
Desterro	Caridade	5.010.000	4.334.191
Jerimum	Irauçuba	20.500.000	1.430.000
Salão	Canindé	5.994.999	719.601
São Domingos	Caridade	2.062.000	1.891.699
São Mateus	Canindé	10.336.000	6.972.802
Souza	Canindé	30.840.000	547.402
Trapiá I	Caridade	2.016.000	115.200

## **4.4 Usos Múltiplos da Água**

A utilização das águas acumuladas nos principais reservatórios da bacia, para fins múltiplos conforme preconizado na lei 9.433 (Lei das Águas), é uma idéia que vem sendo posta em prática na região. Entretanto, até agora, os reservatórios foram operados sem a preocupação de otimizar essa utilização.

Este fato decorria principalmente da sub-utilização dos reservatórios. A partir de expressivo aumento verificado na área irrigada do vale, após entrar em operação o Projeto de Irrigação Curu-Paraipaba, localizado ao final do trecho irrigado da bacia, começaram a aparecer os naturais conflitos entre os diversos usos da água.

Os principais usos das águas acumuladas nos reservatórios da região são os seguintes: abastecimento humano e animal, piscicultura e irrigação, sendo esta última enfatizada em nosso estudo de caso.

### **4.4.1 Regularização das Vazões Afluentes**

Os rios da região semi-árida caracterizam-se por pararem de escoar praticamente um mês após cessarem as chuvas. Esse caráter intermitente obriga a construção de reservatórios públicos e privados.

A evaporação é a principal consumidora das águas acumuladas nos reservatórios da região semi-árida. A maneira mais eficiente para reduzir as perdas por evaporação é a adoção de uma política mais agressiva para a utilização de suas águas, principalmente na

irrigação. Entretanto, essa utilização mais intensa aumenta substancialmente a probabilidade da ocorrência de falhas no atendimento às demandas.

Assim tem-se que fixar o risco de falha que se está disposto a correr no atendimento das demandas. Usualmente é fixado uma garantia de 90% para o atendimento das atividades agrícolas e de 95 a 100% para o abastecimento de cidades.

Nos períodos de seca (1979/1983), os reservatórios da bacia praticamente secaram, originando graves problemas ao atendimento das necessidades de água para o abastecimento humano e irrigação.

#### **4.4.2 Irrigação**

Este é o principal uso das águas acumuladas nos reservatórios, sendo a irrigação a maior fonte de renda dos moradores dos municípios banhados pelo Rio Curu.

Os principais perímetros irrigados, são:

- Faisa com 290 ha;
- Curu-Paraipaba: 2565 ha;
- Ypioca: 1085 ha.
- Curu-Recuperação: 940 ha.

### **4.4.3 Abastecimento Humano e Animal**

É a maior preocupação dos gerentes de recursos hídricos, sendo de fundamental importância que haja um volume mínimo no final de cada período, afim de garantir o abastecimento humano e animal com boa qualidade de água.

### **4.4.4 Piscicultura**

O aproveitamento de um reservatório para criação de peixe constitui-se em um uso não consuntivo para as suas águas. Contudo, origina restrições em sua operação, provocadas pela necessidade da manutenção de uma reserva mínima adequada.

Essas restrições se agravam na região semi-árida, devido à incidência de prolongados períodos de seca, onde praticamente secam os pequenos e médios reservatórios.

Os principais reservatórios da bacia são grandes produtores de peixes, sendo a região um dos mais importantes centros ictiológicos do país.

## **4.5 O Sistema Hidrológico**

O sistema de reservatórios da bacia do Curu é composto pelos três grandes reservatórios existentes (General Sampaio, Pereira de Miranda e Caxitoré) e pelos reservatórios programados (Frios, Melancia, Paulo e Tejussuoca).

Os reservatórios construídos, juntamente com os programados, formam um sistema em paralelo. A Figura 4.2 mostra o esquema físico programado para a bacia do Curu.

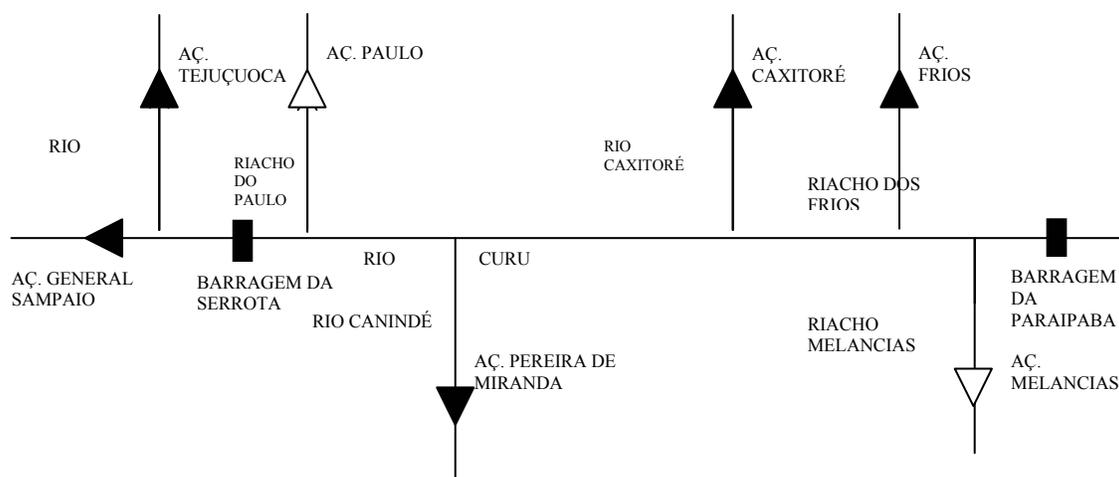
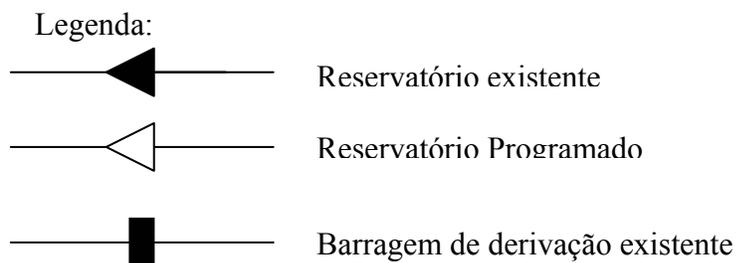


Figura 4.2: Esquema físico programado para a Bacia do Curu



As duas barragens de derivação existentes, Serrota e Paraipaba, são utilizadas apenas como barragens de elevação de nível.

A partir da barragem de derivação da Serrota saem dois canais de irrigação que dominam uma ampla área aluvional do Rio Curu. Esses canais abastecem uma parte do

Projeto de Irrigação Público de Curu-Recuperação, a Fazenda Experimental da Universidade Federal do Ceará e um grande número de propriedades rurais.

Do açude Pereira de Miranda parte, também, um canal de irrigação, que alimenta o restante do Projeto Curu-Recuperação.

No baixo vale, próximo à barragem de derivação de Paraipaba, encontram-se localizados os principais consumidores. Nesse trecho estão situados o projeto Agro-Industrial da Agrovale, que possui uma extensa área irrigada da cana-de-açúcar, uma usina de açúcar e o Projeto de Irrigação Público de Paraipaba.

Ao longo dos trechos de rios perenizados da bacia existe um grande número de agricultores que derivam água para irrigação de suas propriedades.

Ademais, as cidades existentes na bacia são abastecidas com as águas dos grandes reservatórios existentes.

## **4.6 Descrição do Processo Decisório**

### **4.6.1 Formação do Comitê**

O Comitê da Bacia do Rio Curu, localizado numa importante região agrícola do Ceará, em termos de produção baseada na irrigação, foi criado com base na lei n. 11.996 de 24/07/1992, e aprovado na assembléia de 03/07/97, compondo o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH, com sede coincidente com a respectiva Secretaria Executiva, e com as seguintes finalidades, de acordo com o artigo 2 do estatuto de criação:

1. Proceder aos estudos, divulgar e debater programas de serviços e obras a serem realizados, no interesse da coletividade, definindo prioridades, objetivos, metas, benefícios custos e riscos sociais, ambientais e financeiros, para integrar o plano de bacia hidrográfica;
2. Promover o gerenciamento descentralizado, participativo e integrado dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos quantitativos e qualitativos, em sua área de atuação;
3. Compatibilizar o gerenciamento dos recursos hídricos com o desenvolvimento regional e com a proteção do meio ambiente;
4. Promover a utilização múltipla dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, assegurando o uso prioritário para o abastecimento das populações;
5. Promover a integração das ações na defesa contra eventos hidrológicos críticos, que ofereçam risco à saúde e à segurança pública assim como outros prejuízos;
6. Estimular a proteção dos recursos hídricos contra ações que possam comprometer o uso múltiplo atual e futuro;
7. Criar tecnologias e capacitar recursos humanos voltados para a conservação dos recursos hídricos.

É composto por 50 membros, escolhidos da seguinte forma:

-15 membros representantes dos usuários, sendo:

a- Vazante	03 vagas
b- Pesca	03 vagas
c- Irrigação Privada	03 vagas
d- Perímetro Irrigado	02 vagas
e- Abastecimento Humano	02 vagas
f- Agroindústrias	02 vagas

-15 membros representantes da sociedade civil;

-10 membros representantes das entidades públicas;

-10 membros representantes dos municípios.

#### **4.6.2 Alternativas**

As alternativas são as possíveis vazões em  $m^3/s$  que podem ser liberadas provenientes de simulações executadas pela COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará), visando obter valores que permitam a preservação de volumes de reserva dos reservatórios para as finalidades básicas nos próximos períodos de estiagem, e que atinja uma vazão máxima permitida para os fins múltiplos a que se destinam as águas.

Nos últimos anos foram liberados as seguintes vazões (m<sup>3</sup>/s):

Tabela 4.2 –Vazões Liberadas Fonte: COGERH

Açudes	1997	1998	1999	2000
Pentecoste	3.30	2.00	1.10	1.20
Caxitoré	1.70	2.10	1.60	1.60
Frios	0.05	0.13	0.70	0.80
Gen. Sampaio	2.00	1.40	1.30	0.80
Tejuçoca	0.10	0.05	0.06	0.16
Total	7.15	5.68	4.76	4.56

#### 4.6.3 Detalhamento das metodologias utilizadas

Dentre vários possíveis critérios envolvidos no processo de decisão escolheram-se alguns critérios que foram considerados fundamentais para decidir que vazão adotar para um determinado período, levando em conta que além do consumo humano e animal, que é a meta principal de qualquer gerenciamento das águas, a liberação das águas para irrigação no Vale do Curu é também fundamental. Este estudo de caso voltou-se para os critérios que contemplam a irrigação, não esquecendo porém que a metodologia adotada servirá igualmente para o caso geral, bastando para isto complementar a matriz de decisão com os critérios que irão propiciar este intuito, como por exemplo:

- abastecimento humano e animal;
- Índice da qualidade da água: media de cloretos;
- Aspectos ambientais: erosão, desmatamento.

Os critérios escolhidos foram os seguintes:

- **Área Irrigada:** Considera-se que a redução da vazão implicará numa redução de áreas irrigadas com determinadas culturas, implicando no prejuízo de alguns irrigantes.
- **Retorno Financeiro:** Este é um dos critérios importantes e uma das conseqüências da variação na vazão liberada.
- **Relação Volume Final do Período/Volume Total:** A incerteza do inverno no Estado do Ceará traz como conseqüência o perigo de desastecimento em outros períodos, com isto a manutenção de um volume final no período de estudo que propicie uma folga para próximos períodos é fundamental, o que implica que esta relação deve se manter alta, sendo portanto o critério de maior importância.
- **Impacto Social:** Qualquer medida de redução da vazão liberada implica em vários aspectos sociais, pois altera a disponibilidade de água para necessidades pessoais, lazer, economia regional e outros aspectos. Portanto, torna-se fundamental considerar este critério.
- **Impacto Político:** No processo decisório existem interesses conflitantes, isto implica em aspectos políticos, justificando a importância deste critério.

A metodologia utilizada para determinar os três primeiros critérios foi a modelagem de um problema de pesquisa operacional que permita otimizar estes aspectos para cada alternativa de vazão a ser liberada. No item 4.6.3.1 determinou-se quais as vazões requeridas em cada perímetro irrigado pertencente ao vale, com as vazões de cada cultura, os itens 4.6.3.2. e 4.6.3.3. detalham para o período em estudo a simulação efetuada pelos técnicos da COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará) no intuito de preservar a relação Volume Final/Volume Total a maior possível.

Os itens 4.6.4.1, 4.6.4.2 e 4.6.4.3 detalham os sistemas de otimização para cada alternativa simulada e cujos resultados após o uso do Software LINDO, student version (Winston, 1998), estão detahados no item 4.6.5.

O item 4.6.6. detalha a matriz de decisão (Trade-Off) que servirá como base para a aplicação dos método ELECTRE, aplicado no item 4.6.6.1, e o método de Programação de Compromisso no item 4.6.6.2.

#### **4.6.3.1 Cálculo das vazões dos perímetros**

Detalharemos a seguir o consumo de cada cultura nos perímetros irrigados do Vale do Curu , com o tipo de irrigação, área de plantio, e vazão requerida, dados extraídos dos relatórios técnicos da COGERH que serviram como base para a elaboração das simulações.

Tabela 4.3–Áreas e vazões dos perímetros irrigados da Bacia do Curu por tipo de irrigação

	FAISA: 290 ha		Curu – Paraipaba 2565 ha		Curu – Recuperação 940 ha		Ypioca 1085 ha	
	Área (ha)	Vazão (m <sup>3</sup> )	Área (ha)	Vazão (m <sup>3</sup> )	Área (ha)	Vazão (m <sup>3</sup> )	Área (ha)	Vazão (m <sup>3</sup> )
<b>Gotejamento</b>								
Melão	240	0,2452	—	—	—	—	—	—
Acerola	50	0,5290	—	—	—	—	—	—
<b>Convencional</b>								
Coco	—	—	1600	0,8641	250	1,1058	—	—
Cana	—	—	300	0,9973	—	—	650	0,9973
Acerola	—	—	40	0,8641	—	—	—	—
Capim	—	—	250	1,0533	—	—	—	—
Caupi	—	—	300	0,6904	300	0,8840	—	—
Abóbora	—	—	50	0,8204	—	—	—	—
Graviola	—	—	20	0,2025	—	—	—	—
Goiaba	—	—	5	0,8102	—	—	—	—
Banana	—	—	—	—	340	1,2426	—	—
Perenes	—	—	—	—	50	0,4803	—	—
<b>Inundação</b>	—	—	—	—	—	—	435	1,7657
Perenes	—	—	—	—	—	—	—	—

#### 4.6.3.2 Vazões Simuladas a Serem Liberadas pelos Açudes

Os dados a seguir foram os apresentados pelos técnicos da COGERH, em 26/06/2001, ao Comitê da Bacia para o planejamento do período julho de 2001 a janeiro de 2002. Mostra que vazões devem ser liberadas em cada açude da região para atingir as vazões simuladas.

Tabela 4.4 – Detalhamento das vazões simuladas por açude. Fonte: COGERH.

Nr.	AÇUDES	Alternativas (m <sup>3</sup> /s)		
1	Pentecoste	2,00	2,20	2,50
2	Frios	0,60	0,80	1,00
3	Caxitoré	0,50	0,70	0,60
4	General Sampaio	0,60	0,70	0,80
5	Tejuçuoca	0,06	0,10	0,10
6	Jerimun	0,025	0,025	0,025
	Totais	3,785	4,525	5,025

#### 4.6.3.3 Relação Percentual dos Volumes Finais Simulados

A tabela 4.5 mostra a relação entre os volumes simulados.

Tabela 4.5 - Relação percentual dos volumes finais simulados. Fonte: COGERH.

Nr.	AÇUDES	Volume Total	Alternativas					
			3,785 (m3/s)		4,525 (m3/s)		5,025 (m3/s)	
			Volume Simulado	%vol.	Volume Simulado	%vol.	Volume Simulado	%vol.
1	Pentecoste	395,638	65,194	16,48	61,623	15,50	56,679	14,32
2	Frios	33,021	8,215	24,88	4,955	15,00	1,210	3,66
3	Caxitoré	202,000	20,684	10,24	20,684	10,24	7,000	3,46
4	General Sampaio	322,200	18,632	5,78	16,775	5,21	10,530	3,27
5	Tejuçuoca	28,117	3,921	13,94	3,921	13,94	0,980	3,48
6	Jerimum	20,500	0,385	1,87	0,385	1,87	0,385	1,87
	Totais	1.001,447	117,031	11,69	108,343	10,82	76,784	7,66

A tabela 4.5 determina o volume final que cada açude deve ter no fim do período considerado com uma lâmina de evaporação medindo 0,15m.

#### 4.6.4 Montagem dos Sistemas

Os modelos de programação linear foram montados da seguinte maneira:

Variáveis: A1 a A15 representando as áreas de irrigação de cada cultura com determinado tipo de irrigação.

Representação dos Códigos

A1 – Coco Convencional

A2 – Cana Convencional

A3 – Banana Sulco

A4 – Caupi Convencional

A5 – Caupi Sulco

A6 – Capim Convencional

A7 – Abóbora Convencional

A8 – Graviola Convencional

A9 – Melão Gotejamento

A10 – Acerola Gotejamento

A11 – Acerola Convencional

A12 – Goiaba Convencional

A13 – Perenes Sulco

A14 – Perenes Inundação

A15 – Coco Sulco

Função Objetiva: visa a maximizar as áreas irrigadas de cada cultura para a vazão liberada, e é composta pelo somatório dos produtos das possíveis áreas irrigadas e das vazões requeridas.

#### Restrições

1ª restrição: somatória das áreas irrigadas menor ou igual à área total dos perímetros.

2ª restrição: somatória das vazões requeridas menor ou igual à vazão da alternativa.

3ª restrição: soma das áreas irrigadas de melão menor ou igual à área total disponível para melão.

4ª restrição: soma das áreas irrigadas com o tipo convencional menor ou igual à área disponível.

5ª restrição: soma das áreas para cultura de cana convencional e das culturas perenes com inundação menor ou igual à área disponível

Outras restrições: áreas de cada cultura menor ou igual às áreas disponíveis.

A resolução dos sistemas de otimização encontra-se no anexo I.

#### **4.6.5 Retorno Financeiro**

As tabelas seguintes mostram os resultados obtidos da resolução dos sistemas acima, resolvidos usando o software LINDO (Winston, 1998).

O cálculo da produção foi determinado a partir da produtividade de cada cultura, usando a tabela de produtividade da EMATERCE (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Ceará) e os valores foram calculados usando o preço médio

do mercado de Fortaleza, obtidos pela tabela da SEAGRI (Secretaria de Agricultura Irrigada).

**Resultados para Alternativa I – 3,785 m<sup>3</sup>/s**

Tabela 4.6 - Resultados para Alternativa I

Cultura	Área Beneficiada (ha)	Produção (ton)	Valor (R\$)
Banana	340,00	4.080	466.285,00
Cana	950,00	76.000	1.322.400,00
Coco	1948,62	38.972.400	11.691.720,00
Perenes	435,00	13.050	1.957.500,00
			15.437.905,00

**Resultados para alternativa II: 4,525 m<sup>3</sup>/s**

Tabela 4.7 - Resultados para Alternativa II

Cultura	Área Beneficiada (ha)	Produção (ton)	Valor (R\$)
Abóbora	11,60	174	104.400,00
Acerola	40,00	600	360.000,00
Banana	340,00	4.080	466.285,00
Cana	950,00	76.000	1.322.400,00
Capim	250,00	40.000	12.000,00
Caupi	300,00	360	756.000,00
Coco	2100,00	42.000.000	12.600.000,00
Perenes	435,00	13.050	1.957.500,00
			17.578.585,00

**Resultados para alternativa III: 5,200 m<sup>3</sup>/s**

Tabela 4.8 -Resultados para alternativa III

Cultura	Área Beneficiada (ha)	Produção (ton)	Valor (R\$)
Abóbora	50	750	450.000,00
Acerola	90	1.350	5.760.000,00
Banana	340	4.080	468.751,20
Cana	950	76.000	1.322.400,00
Capim	370	444	932.000,00
Capim	250	40.000	12.000,00
Coco	2100	42.000.000	12.600.000,00
Goiaba	5	90	81.000,00
Graviola	0	0	0
Melão	240	7.200	5.760.000,00
Perenes	485	14.550	2.182.500,00
			24.619.051,20

#### 4.6.6 Matriz Trade-off

Esta matriz apresenta os valores os valores necessários à decisão, onde as linhas são as alternativas e as colunas, os valores do critério.

Tabela 4.9 – Matriz Trade-off

Alternativa (m <sup>3</sup> /s)	Área Irrigada (ha)	Retorno Financeiro (R\$)	Vol. Final/ Vol. Total	Impacto Social	Impacto Político
3,785	3.673,62	15.437.905,00	11,69	Grande	Grande
4,525	4.426,60	17.578.585,00	10,82	Médio	Médio
5,025	4.880	24.619.050,00	7,66	Baixo	Pequeno

#### 4.6.1 Resolução usando ELECTRE I

O princípio básico do Método ELECTRE é separar do conjunto total das alternativas aqueles que são preferidos na maioria dos critérios de avaliação, e que não causam um nível inaceitável de descontentamentos nos outros critérios.

Os resultados foram obtidos através de uma implementação do método em MATLAB 6.0.

## A. Critérios usados na avaliação das alternativas

Os critérios serão classificados de acordo com os níveis de importância devidamente classificados e codificados.

Tabela 4.10 – Classificação de Critérios

Critério	Níveis	Código
1. Área Irrigada	Menos de 3500	30
	de 3550 a 3900	35
	de 3950 a 4300	40
	de 4350 a 4800	45
	de 4850 a 5200	50
2. Retorno Financeiro	Menos de 14000	40
	de 14050 a 15500	45
	de 15550 a 16000	50
	de 16050 a 18000	55
	de 18050 a 20000	60
	de 20050 a 25000	65
3. Relação Vol.Final/Vol.Total	Menos de 8%	30
	de 8,5 a 10,50%	40
	de 11 a 15%	50
4. Impacto Social	Alto	H
	Médio	M
	Baixo	L
5. Impacto Político	Alto	H
	Médio	M
	Baixo	L

## B. Matriz de Avaliação

A matriz de avaliação é composta pelos códigos de classificação das tabelas anteriores.

Tabela 4.11 – Matriz de Avaliação

Alternativas	3,785 (m <sup>3</sup> /s)	4,525 (m <sup>3</sup> /s)	5,025 (m <sup>3</sup> /s)
Área Irrigada	35	45	50
Retorno Financeiro	45	55	65
Volume Final/ Volume Total	50	40	30
Impacto Social	H	M	L
Impacto Político	H	M	L

## C. Índice de Concordância

A concordância entre duas alternativas representa a disposição do decisor em recolher uma delas em lugar da outra. No cálculo dos índices são determinados pesos que representam o julgamento do decisor.

## C.1 Pesos

No nosso estudo de caso, considera-se que o critério Volume Final/Volume Total tem o maior valor relativo, seguido de impacto social e político. Embora de grande importância, os critérios que representam as áreas irrigadas e o retorno financeiro ficam no nível inferior de peso.

Tabela 4.12 – Pesos

Área Irrigada	4
Retorno Financeiro	3
Vol. Final/Vol. Total	8
Impacto Social	5
Impacto Político	5
$\Sigma$ Pesos	20

## c.2. Matriz de Concordância

Os componentes desta matriz podem ser entendidos como uma porcentagem ponderada dos critérios, onde a alternativa  $i$  é preferida a  $j$ . Por exemplo, a alternativa 1 é 72% referida à alternativa 2 e a alternativa 2 é 72% preferida à alternativa 3.

Tabela 4.13 – Matriz de Concordância

	I	II	III
I	0	0,72	0,72
II	0,28	0	0,72
III	0,28	0,28	0

#### **D. Índice de Discordância**

É um índice que representa o desconforto experimentado na escolha de uma alternativa à outra. No item D.1 é determinada uma escala de valores máximos.

##### **D.1 Valores Máximos das Escalas Numéricas**

Tabela 4.14 – Escala Numérica

Área Irrigada	100
Retorno Financeiro	80
Vol. Final/Vol. Total	60
Impacto Social	50
Impacto Político	50

##### **D.2 Valores usados na Determinação dos Índices de Discordância**

Nesta tabela determinou-se códigos que representam o grau de importância de cada nível do critério, de acordo com os códigos da tabela de concordância.

Tabela 4.15 – Grau de Importância

Critério	Código	Escala Numérica
1. Área Irrigada	30	100
	35	80
	40	60
	45	40
	50	20
2. Retorno Financeiro	40	80
	45	65
	50	50
	55	35
	60	20
	65	15
3. Relação Vol. Final/Vol.	30	60
	40	40
	50	20
4. Impacto Social	H	50
	M	35
	L	20
5. Impacto Político	H	50
	M	35
	L	20

## E. Matriz de discordância

Esta matriz representa o nível de rejeição de uma alternativa em relação a outra por um decisor. Por exemplo: A alternativa I tem rejeição de 10% em relação à alternativa II, e a alternativa III tem 10% de rejeição em relação à II.

Tabela 4.16 - Matriz de Discordância

	I	II	III
I	0	0,10	0,20
II	0,10	0	0,10
III	0,20	0,10	0

## F. Resultados

Para determinar a relação de preferência R, estabeleceu-se valores limites de  $p=0,65$  e  $q=0,35$ , tal que a alternativa  $i$  é preferida em relação à alternativa  $j$ , se:

$$\begin{cases} C(i, j) \geq p \\ D(i, j) \leq q \end{cases}$$

Onde,  $C(i,j)$ : elemento da matriz de concordância.

$D(i,j)$ : elemento da matriz de discordância.

## Vetor de Preferência

Representa a ordem de preferência das alternativas.



Figura 4.3 – Vetor de preferência

## G. Conclusão:

A alternativa 1 foi a preferida em virtude do alto peso dado à relação Volume Final/Volume Total, visando a conservar um volume final do reservatório que trouxesse tranquilidade de abastecimento nos anos seguintes. Observa-se que os outros critérios não tiveram muita influência na resolução do problema.

### 4.6.6.2 Resolução por Programação de Compromisso

A programação de compromisso baseia-se em uma noção geométrica do melhor. No método, são identificadas as soluções que estão mais perto da solução ideal, mediante o uso de uma medida de proximidade.

## A. Matriz de Avaliação

Foram considerados os mesmos critérios do ELECTRE, e com consideração de pesos semelhantes. No caso dos critérios subjetivos foram atribuídos valores aos mesmos.

Tabela 4.17- Matriz de Avaliação

Critérios	Unidade	Alternativas			Máx	Mín	Peso
		I	II	III			
Área Irrigada	ha	3673,62	4426,60	4880,00	4880,00	3673,62	4
Retorno Financeiro	10 <sup>6</sup> R\$	15,44	17,58	24,62	24,62	15,44	3
Vol. Final/ Vol. Total	%	11,69	10,82	7,66	11,69	7,33	8
Impacto Social	Subjetiva	5	3	1	5	1	5
Impacto Político	Subjeitva	5	3	1	5	1	5

## B. Distância $L_s$

A solução ideal será formada pelo vetor dos melhores valores alcançados em cada critério na matriz de avaliação. A Tabela 4.18 representa os valores obtidos de acordo com o valor de  $s$ , que reflete a importância que o decisor atribui aos desvios máximos.

Tabela 4.18 – Distâncias  $L_s$

Alternativas	S=1	S=2	S= $\infty$
I	1,0068	0,9329*	0,4483*
II	1,1757	1,1278	0,5000*
III	1,2611	1,2453	1,2200

Os valores marcados com asterisco na Tabela 4.18 indicam as distâncias mínimas entre a soluço de compromisso e a ideal, indicando que a melhor alternativa é a I, seguida das alternativas II e III.

**C. Conclusão:** O resultado deste método comprova os resultados do método Electre, de acordo com as concep es e julgamentos adotados.

## Capítulo 5

# CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

O objetivo desta dissertação é desenvolver um procedimento que permita aos participantes do Comitê da Bacia do Rio Curu decidir qual a melhor vazão a ser liberada, em determinado período, levando em conta diversos fatores que compõem o problema, tanto quantitativos como área irrigada ou retorno financeiro, quanto fatores subjetivos como aspectos sociais e políticos.

A escolha é baseada em aspectos técnicos e pareceres pessoais dos envolvidos no processo. Porém outros critérios devem ser incluídos como os aspectos políticos, sociais, financeiros, ambientais, etc.

O estudo de caso desenvolvido no quarto capítulo, apresenta um método que possibilita a inclusão deste outros critérios. Aplicamos a programação linear para encontrar quais áreas de culturas podem ser irrigadas, com determinado tipo de irrigação, usando as vazões simuladas de forma a otimizar o retorno financeiro do investimento executado.

O modelo proposto envolveu não somente a programação linear, como também métodos multicritérios que ajudaram a decidir qual a melhor vazão para os critérios escolhidos. Usou-se dentre vários métodos, o método ELECTRE e o método de Programação de Compromisso.

Os métodos ELECTRE I e Programação de Compromisso possibilitam, através da análise multiobjetivo, a consideração simultânea dos aspectos sociais, ambientais e

econômicos no complexo contexto decisório dos comitês de gerenciamento de bacia hidrográfica.

Além dos dados quantitativos, mensuráveis e avaliados através de variáveis contínuas, os métodos utilizados possibilitam a consideração da subjetividade, permitindo a introdução dos aspectos qualitativos do processo decisório, através de variáveis discretas, por meio de escalas adequadas de avaliação.

Através das classificações obtidas, através dos dois métodos utilizados e de forma consistente, consideramos as alternativas de maior atratividade e descartadas as de menor atratividade, para cada situação.

O alto índice de correlação (IR médio 0,72), encontrado na comparação das classificações, pode ser justificado pelo baixo número de alternativas de solução considerado no caso estudado, pelas avaliações muito semelhantes e porque os métodos utilizam funções de análise com lógicas muito diferentes. As considerações que seguem, resultaram do estudo e aplicação dos dois métodos apresentados para a solução do caso formulado.

a) O método ELECTRE é baseado no conceito de dominância entre as alternativas de solução, a partir de relações de preferências estabelecidas. É adequado para a solução de problemas com alternativas exclusivamente discretas, pois não depende de dados quantitativos na análise. Os resultados obtidos sofreram grande influência dos pesos aplicados aos critérios. A solução obtida convergiu para a alternativa I quando aplicamos um alto peso para a relação Volume Final/Volume Total.

b) O método da Programação de Compromisso é ágil, de fácil visualização gráfica e propicia a interação entre avalistas e decisores ao longo do processo decisório. Também sofreu uma grande influência dos pesos adotados.

Dentre os valores 1, 2 e 3, normalmente adotados para quantificar o valor que os decisores conferem aos desvios máximos, surge como mais adequado o uso de  $s = 2$ , por conferir um conceito vetorial ao peso.

O método possibilita uma classificação quantificada, com grande poder de discriminação, o que pode ser obtido através do aumento da precisão no processamento do cálculo matemático da proximidade da solução ideal na estrutura do modelo.

Pelo exposto, fica confirmada a aplicabilidade dos métodos da Programação de Compromisso e ELECTRE para a solução de problemas multiobjetivo complexos na Gestão das Águas.

As dificuldades, aqui encontradas e superadas, ensejam à pesquisa e desenvolvimento de métodos mais ágeis e de assimilação facilitada, sustentados por aplicativos computacionais simplificados e disponibilizados para o contexto decisório da Gestão de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas.

Por outro lado, é importante ressaltar as limitações do trabalho apresentado.

As técnicas de análise multiobjetivo foram aplicadas a matrizes de avaliação previamente estabelecidas.

Na realidade, as matrizes de avaliação representam um dos resultados do importante processo de estruturação do problema, que deve anteceder à aplicação das técnicas de análise multiobjetivo.

Outro aspecto importante diz respeito à análise multiobjetivo sob incerteza, em função da aleatoriedade de eventos inerentes ao contexto decisório na Gestão das Águas.

Tanto a fase de estruturação dos problemas, como a análise sob incerteza não foram abordadas por não fazerem parte do objeto da presente dissertação. Fica a recomendação para o desenvolvimento de estudos e pesquisas com maior alcance e profundidade sobre esses relevantes aspectos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARROW, K. J., **Social Choice and Individual Values**, Yale Univ. Press., 1963

AZONDEKON, S., MARTEL, J.M., 1999. **“Value” of additional information in multicriterion analysis under uncertainty**. European Journal of Operational Research. 117, 45-62.

BANA e COSTA, C. A., STEWART, T. J., VANSNICK, Jean-Claude; 1997. **“Multicriteria decision analysis: Some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings”**, EJOR (1997) 28-37

BANA e COSTA, C.A., ENSSLIN, L., CORREA, E.C., VANSNICK, J.C., 1999. **Decision Support Systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process**. European Journal of Operational Research. 113, 315-335.

BASSADUR, M. ELLSPERMANN, S.J. e EVANS, G. W. **A New Methodology for Formulating III-Structured Problems**. Omega. Vol. 22, nº 6, pp. 627-645, 1994.

BAZARTSEREN, B., SOLOMATINE, D.P., MINNS, A.W., ABBOTT, M.B., **“Improving the quality of judgement in environmental impact assessment by using an analytic hierarchy process”** iahr, XXVIII Congress, 22-27 (1999)

BENAYOUN, R e TERGNY, J. Critères multiples en programmation matemática: une solution dans le cas linéaire. **RIRO**, v. 2, 31-56, 1969

BENAYOUN, R. de MONTGOLFIER, J., TERGNY, J. e LARICHEV, O., **Linear programming with multiple objective functions: STEP method (STEM)**. *Math. Program.*, v. 1, pp. 366-375, 1971.

BENNETT, P., 1998. **Confrotation analysis as a diagnostic tool**. *European Journal of Operational Research*. 109, 465-482.

BERTIER, P. e de MONTGOLFIER, J. **Comment choisir en tenant compte de points de vue non commensurables**. *Anal. Prévis.*, v. XI, pp. 521-548, 1971.

BOUYSSOU, D. **Modeling inaccurate determination, uncertainty, imprecision using multiple criteria**. LOCKETT, A. G., ISLEI. G. **Improving Decision Making in Organizations**, Berlim: Springer, pp. 78-87, 1989.

BOUYSSOU, D. **Building criteria: a prerequisite for MCDA**, BANA e COSTA **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**, Berlim: Springer, pp. 58-82, 1990.

BRANS, J. P., MARESCHAL, B. e VINCKE, Ph. **PROMOTHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis**, BRANS, J. P., **Operational Research** 84, Amsterdam: Elsevier, pp. 408-421, 1984.

BRANS, J. P. e VINCKE, Ph., **A preference ranking organization method**. *Manag. Sei*, v. 31, pp. 647-656, 1985.

BRANS, J. P., VINCKE, Ph., e MARESCHAL, B., **How to select and how to rank procets: the PROMETHEE method**. *Eur, J. Oper. Res.* v. 24, pp. 228-238, 1996.

BRANS, J.P., MACHARIS, C., KUNSCH, P.L., CHEVALIER, A., SCHWANINGER, M., 1998. **Combining multicriteria decision aid and system dynamics for the control of socio-economic processes. An iterative real-time procedure.** European Journal of Operational Research. 109, 428-441.

BUDHAKOONCHAROEN, S., 1990. **Interactive multi-objective decision making in Reservoir Operation.** Dissertação. Asian Institute of Technology. Bangkok, Thailand.

CARVALHO, M.M., 1997. QFD - **Uma ferramenta de tomada de decisão em projeto.** Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

CHAN, F.T.S., JIANG, B., TANG, N.K.H., 2000. **The development of intelligent decision support tools to aid the design of flexible manufacturing systems.** International journal of production economics. 65, 73-84.

CHENG, C.H., YANG, K.L., HWANG, C.L., 1999. **Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight.** European Journal of Operational Research. 116, 423-435.

CLIMACO, J. N. e ANTUNES, C. H., **Implementation of an user friendly software package – a guided tour of TRIMAP.** Math. Comput. Model., v. 12, pp. 1299-1309, 1989.

CORNER, J.L., BUCHANAN, J.T., 1997. **Capturing decision maker preference: Experimental comparison of decision analysis and MCDM techniques.** European Journal of Operational Research. 98, 85-97.

DIAS, L., MOUSSEAU, V., Figueira, J., Clímaco, J., 1998. **“Uma abordagem de agressão/desagressão para obter conclusões robustas com o ELECTRE TRI”** JGO, vol.12, 157-174.

ENSSLIN, S.R., **A estruturação no processo decisório de problemas multicritérios complexos**. Dissertação. ENE/Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1996.

ENSSLIN, L., ENSSLIN, S.R., NORONHA, S.M.D., PETRI, S.M., **Elaboração de um índice de severidade de seca para o Ceará utilizando-se uma metodologia de apoio à decisão (MCDA)**. XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Viçosa, 2000.

ENSSLIN, L., FILHO, A.H.D., **“Um modelo mcda para avaliar os serviços de telecomunicações prestados por concessionárias à Caixa Econômica Federal em Santa Catarina, visando seu aperfeiçoamento”** SBPOV (2000)

FISHBURN, P.C., **Analysis of Decisions with Incomplete Knowledge of Probabilities**, Operations Research, v. 13, pp. 217-237, 1970.

FRIEND, J. **New Directions in Software for Strategic Choice**. European Journal of Operational Research, v. 61, pp. 154-164, 1992.

FRIEND, J., HICKLING, A. **Under Pressure**. Pergamon Press, Oxford, 1988.

FULLER, R., CARLSSON, C., **“Fuzzy multiple criteria decision making: Recent developments”** FSS (1996) 139 – 153

GEORGOPOULOU, E., SARAFIDIS, Y., DIAKOULAKI, D., 1998. **Design and implementation of a group DSS for sustaining renewable energies exploitation**. European Journal of Operational Research. 109, 483-500.

GOMES, L.F.A.M., LAURENCE, L.C., Contribuição da Escola Holandesa ao Auxílio à Decisão Multicritério: Uma Síntese Interpretativa.

GUIGOU, J.L. **On French location models**. Reg. Urban Econ., v. 1, pp. 289-316, 1971.

GUIGOU, J.L. **Analyse des Données et Coix à Critères Multiples**. Paris: Dunod, 1974.

GUITOUNI, A., MARTEL, J.M., 1998. **Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method**. European Journal of Operational Research. 109, 501-521.

HENGGELER, C., ALVES, J. M., SILVA, J.L. e CLIMACO, J., **in Integrated MOLP method base package – a guided tour of TOMMIX**. Comput. Oper. Res., v. 19, pp. 609-625, 1992.

HOKKANEN, J., SALMINEN, P., 1997. **Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis**. European Journal of Operational Research. 98, 19-36.

JACQUET-LAGRÈZE, E. e SISKOS, J. **Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision making: the UTA method**, Eur. J. Oper. Res., v. 10, pp. 151-164, 1982.

JACQUET-LAGRÈZE, E., MEZIANI, R. e SLOWINSKI, R. **MOLP With an interactive assessment of piecewise linear utility function.** *Eur. J. Oper. Res.*, v. 31, pp. 350-357, 1987.

JACQUET-LAGRÈZE, E. **Interactive assessment of preferences using holistic judgements: the PREFCALC system,** BANA e COSTA, C. A. **Readings in Multiple Criteria Decision Aid,** Berlin: Springer, pp. 336-350, 1990.

JARDIM, Sérgio B., **Aplicabilidade de Algumas Técnicas de Análise Multiobjetivo ao Processo Decisório do Gerenciamento de Bacia Hidrográfica.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Outubro de 1999

JASZKIEWICZ, A. e SLOWINSKI, R. **The light beam search over a non-dominated surface of a multiple objective programming problem,** TZENG, G. H., WANG, H. F., WEN, U. P. e YU, P. L. **Multiple Criteria Decision Making,** New York: Springer, pp. 87-99, 1994.

JASZKIEWICZ, A. e SLOWINSKI, R. **Outranking-based interactive exploration of a set of alternatives.** *J. Multi-Crit. Decis. Anal.*, 1996.

JASZKIEWICZ, A., FERHAT, A.B., 1999. **Solving multiple criteria choice problems by interactive trichotomy segmentation.** *European Journal of Operational Research.* 113, 271-280.

JASZKIEWICZ, A., SLOWINSKI, R., 1999. **The 'Light Beam Search' approach – an overview of methodology and applications.** *European Journal of Operational Research.* 113, 300-314.

KARSAK, E.E., Tolga, E., 2001. **“Fuzzy multi-criteria decision-making procedure for evaluating advanced manufacturing system investments”** IJPE (2001) 49-64

KEENEY, R. L., RAIFFA, H., **Decision with Multiple Objectives; Preference and Value Trade offs**, wiley, 1976)

KEENEY, R. L. **Building models of values**. European Journal of Operational Research, North-Holland, v. 37, pp. 149-157, 1988.

KEENEY, R. L. **Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking**. Cabridge: Harvard Univ. Press. 1992.

KEENEY, R. L. **Creativity in decision making with value-focused thinking**. Sloan manangement Review, Summer, pp. 33-41, 1994.

KIM, S.H., AHN, B.S., 1999. **Interactive group decision making procedure under incomplete information**. European Journal of Operational Research. 116, 498-507.

KORHONEN, P. e LAAKSO, J. A visual interactive method for solving the multiple criteria problem. Eur. J. Oper. Res. v. 24, pp. 277-287, 1986.

KORHONEN, P. e WALLENIIUS, J. **A pareto race**. Naval Res. Logist., v. 35, pp. 615-623, 1988.

KWAK, N.K., LEE, C., 1998. **A multicriteria decision-making approach to university resource allocations and information infrastructure planning.** European Journal of Operational Research. 110, 234-242.

LACLERC, J. P., **Propositions de' extension de la notion de dominance en présence de relations d'ordre sur les pseudo critères,** MELCHIOR, Math Social Sci. 8, pp. 45-61, 1984.

LÉVINE, P e POMEROL, J. Ch. **PRIAM, an interactive program for choosing among multiple attribute alternatives.** Eur. J. Oper. Res., v.25, pp. 272-280, 1986.

MAKOWSKI, M., 1994. **"methodology and a Modular Tool for multiple criteria Analysis of LP Models"** WP (1994) 94-102

MARTINS, F.M., 1996. **Aplicação de metodologia multicritério de apoio à decisão na avaliação de políticas de gerenciamento em uma empresa orizícola.** Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

MASSAGILA, R. e OSTANELLO, A. **N-TOMIC: a support system for multicriteria segmentarion problems.** KORHONEN, P., LEWANDOWNSKI, A. e WALLENIUS, J. *Multicriteria Decision Suport*, Berlin: Springer, pp. 167-174, 1991.

MATTARAZZO, B., SALVATORE, G., **Rule-Based Decision Suport in Multicriteria Choice and Ranking,** ECSQARU, EE 15, 1991)

MATTARAZZO, B., SALVATORE, G., **Exploitation of a Rough Approximation of the Outranking Relation**, LAMSADE, 152, 1998)

MEHREZ, A., 1997. **The interface between OR/MS and decision theory**. European Journal of Operational Research. 99, 38-47.

METEV, B.S., YORDANOVA-MARKOVA, I.T., 1997. **Multi-objective optimization over convex disjunctive feasible sets using reference points**. European Journal of Operational Research. 98, 124-137.

MIETTINEN, K., SALMINEN, P., 1999. **Decision-aid for discrete multiple criteria decision making problems with imprecise data**. European Journal of Operational Research. 119, 50-60.

MOHAN, S., RAIPURE, D.M., 1992. **Multiobjective Analysis of Multireservoir System**. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 118, No. 4.

MUSTAJOKI, J., HAMALAINEN, R.P., 1999. **Web-HIPRE – Global decision support by value tree and AHP analysis**.

NORESE , M. F. e OSTANELLO, A. **Indentification and development of alternatives: introduiction to the recognition of process typologies**. LOCKETT, A. G., ISLEI, G. **Improving Decision Making in Organizations**, Berlim: Springer, pp. 112-123, 1989.

OSTANELLO, A. **Action evaluation and action structuring: different decision aid situations reviewed through two actual cases**, BANA e COSTA, C. A., **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**, Berlin: Springer, pp. 36-57, 1990.

PAELINCK, J. Qualifex, a flexible multiple criteria method. *Econ. Lett.*, v. 3, pp. 193-197, 1978.

PARK, K.S., KIM, S.H., 1997. **Tools for interactive multiattribute decisionmaking with incompletely identified information**. *European Journal of Operational Research.* 98, 111-123.

PASTING, H. e LAYSEN, J. **Constructing an outranking relation with OREST**. *Math. Comput. Model.*, v. 12, pp. 1255-1268, 1989.

PILLAI, C.R.S., RAJU, K.S., 1999. **Multicriterion decision making in performance evaluation of an irrigation system**. *European Journal of Operational Research.* 112, 479-488.

RANDALL, D., CLELAND, L., KUEHNE, C.S., LINK, G.W., SHEER, D.P., 1997. **"A Water Supply Planning Simulation Model Using a Mixed Integer Linear Programming "Engine" "** AJWRPM, Vol.123 No.2 (1997)

RIOS, S., INSÚA, M. J. R., **Procesos de decisión multicriterio**, EUDEMA S.A. (Ediciones de la Universidad Complutense, S.A.), 1989.

ROSENHEAD, J. **Rational Analysis For a Problematic World**, Chichester. Wiley, 1989.

ROSENHEAD, J. **Problem Structuring Methods**. VII Latin-Iberian-American Congress on Operations Research and Systems Engineering (CLAIO), Santiago, julho, 1994.

ROY, B. **From optimization to multicriteria decision aid: three main operational attitudes**. THIREIZ, H. e ZIONTS, S., **Multiple Criteria Decision Making**, Berlim: Springer, pp. 1-32, 1976.

ROY, B., JACQUET-LAGRÈZE, E. e BLANCHER, M. Elaboration de critères permettant une intégration des divers aspects liés au temps dans l'aide à la décision en matière de transports. **Metra Rep**, 1977.

ROY, B. **Partial preference analysis and decision-aid: the fuzzy outranking relation concept**, in: BELL, D. E., KEENEY, R. L. e RAIFFA, H., **Conflicting Objective in Decisions**, New York: Wiley, pp. 40-75, 1977.

ROY, B. **ELECTRE III: un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences em présence de critères de critères multiples**. Cah. Centre Etudes Rech. Opér., v. 20, pp. 3-24, 1978.

ROY, B. **The optimization problem formulation: criticism and overstepping**. Journal of Operational Research Society, v. 32, n. 6, pp. 427-436, 1981.

ROY, B. e BOUYSSOU, D. Comparison of two decision-aid models applied to a nuclear plant siting example. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 25, pp. 200-215, 1986.

ROY, B. **Main sources of inaccurate determinarion, uncertainty and imprecision in decision models**. **Math. Comput. Modeling**, v. 12, n. 10/11, pp. 1245-1254, 1989.

ROY, B. e SLOWINSKI, R. **Criterion of distance between technical programming and socio-economic priority**, RAIRO Rech. Opér., v. 27, pp. 45-60, 1993.

ROY, B., VANDERPOOTEN, D. **The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Works**. Journal of Multi-criteria Decision Analysis, v. 5, pp. 22-38, 1996.

ROY, B., VANDERPOOTEN, D., 1997. **An overview on “The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works”**. European Journal of Operational Research. 99, 26-27.

RUBENS, M. **Preference relations on actions and criteria in multicriteria decision making**. Eur. J. Oper. Res., v. 10, pp. 51-55, 1982.

SAATY, T. L., **Decision Making the Analitic Hierarchy Process**, University of Pittsburg, v. 15, pp. 24, 1980.

SCHMIDT, A.M. A., 1995. **Processo de apoio à decisão- abordagens: AHP e Macbeth**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

SISKOS, J., e YANNACCOPOULOS, D. **UTASTAR, an ordinal regression method for building addtive value functions**. Invest. Oper., v. 5, pp. 39-53, 1985.

SISKOS, J. **Evaluenting a system of furniture retail outlets using an interactive ordinal regression method**. Eur. J. Oper. Res., v. 23, pp. 179-193, 1986.

SISKOS, Y., SPYRIDAKOS, A., 1999. **Intelligent multicriteria decision support: Overview and perspectives.** European Journal of Operational Research. 113, 236-246.

SISKOS, Y., SPYRIDAKOS, A., YANNACOPOULOS, D., 1999. **Using artificial intelligence and visual techniques into preference disaggregation analysis: The MIIDAS system.** European Journal of Operational Research. 113, 281-299.

SLOWINSKI, R. FLIP: **an interactive method for multiobjective linear programming with fuzzy coefficients**, in: SLOWINSKI, R. e TEGHEM, J., **Stochastic versus Fuzzy Approaches to Multiobjective Mathematical Programming under Uncertainty**, Dordrecht: Kluwer, pp. 249-262, 1990.

TEGHEM, J., STRAGE: **an interactive method for multiobjective stochastic linear programming e STRANGE-MOMIX its extension to integer variables**, in: SLOWINSKI, R. e TEGHEM, J., **Stochastic versus Fuzzy Approaches to Multiobjective Mathematical Programming under Uncertainty**, Dordrecht: Kluwer, pp. 103-115, 1990.

TRIANAPHYLLOU, E., **"A Linear Programming Based Decomposition Approach in Evaluating Priorities from Pairwise Comparisons and Error Analysis"** JOTA Vol.4,No.1 207-234 (1995)

TRIANAPHYLLOU, E., KOVALERCHUCK, B., MANN, L., Jr., and KNAPP., J., 1997. **Determining the most important criteria in maintenance decision making.** Quality in Maintenance Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 16-28.

TRIANTAPHYLLOU, E., SÁNCHEZ, A., **“A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision making decision”** DS (1997) Vol.28 , 151-194

TRIANTAPHYLLOU, E., SHU, B., SANCHEZ, N., RAY, T., 1998. **“Multi-criteria Decision Making an Operations Research Approach”** EEEE Vol.15 175-186 (1998).

TSOUKIÁS, A. e VINCKE, Ph. **A survey on nonconventional preference modelling.** Ric. Oper., v. 61, pp. 5-49, 1992.

TSOUKIÁS, A. e VINCKE, Ph. **A new axiomatic foundation of partial comparability.** Theory and Decis, v. 39, pp. 79-114, 1995.

WINSTON, Wayne L. **Operations reserch: application and algorithms / 3<sup>rd</sup> ed.** Duxbury Press, 1998.

VACA, O.C.L., 1995. **Um algoritmo evolutivo para a programação de projetos multi-modos com nivelamento de recursos limitados.** Tese. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

VANDERPOOTEN, D. **L'approche interactive dans l'aide multicritère à la décision: aspects concepts, méthodologiques et informatiques.** Ph. D. Thesis, Université Paris Dauphine, 1990.

VANSNICK, J., C. **On the problems of weights: in MCDM (the noncompensatory approach).** European Journal of Operation Research, 24, pp. 288-294. 1986,

VINCKE, Ph. **Une méthode interactive en programmation linéaire à plusieurs fonctions économiques.** RAIRO Rech. Opér., v. 10, pp. 5-20, 1976.

VON NEUMANN, J. e MORGENSTERN, O., **Theory of games and economic behavior**, Princeton University Press, 1953.

XU, Z., 2000. **On consistency of the weighted geometric mean complex judgement matrix in AHP.** European Journal of Operational Research. 126, 683-687.

ZADEH, L. A., **Optimality and nonscalar-Value Performance Criteria**, IEEE Trans. Automat. Central. Ac- 8, pp. 59-60, 1963.

ZELENY, M., **Compromise programming**, en *MCDM* (Cochrane-zeleny eds.) USC: 373-391, 1973.

ZHOU, G., Gen, M., 1999. **“Genetic algorithm approach on multi-criteria minimum spanning tree problem”** EJOR (1999) 141-152.

ZOPOUNIDIS, C., 1999. **Multicriteria decision aid in financial management.** European Journal of Operational Research. 119, 404-415.

# Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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