

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITERIAL PROMETHEE PARA
AMPLIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL NA
BACIA DO RIO GRAMAME – PB

ROSINETE BATISTA DOS SANTOS

CAMPINA GRANDE – PB
SETEMBRO DE 2004

ROSINETE BATISTA DOS SANTOS

**APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITERIAL PROMETHEE PARA
AMPLIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL NA
BACIA DO RIO GRAMAME – PB**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, na área de Engenharia de Recursos Hídricos, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

**ORIENTADORES: WILSON FADLO CURI
ROSIREN CATÃO CURI**

**CAMPINA GRANDE – PB
SETEMBRO DE 2004**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

S337a Santos, Rosinete Batista dos
2004 Aplicação do método multicriterial Promethee para ampliação da
 disponibilidade hídrica superficial na Bacia do Rio Gramame-PB / Rosinete Batista
 dos Santos. — Campina Grande: UFCC, 2004.
 134p.

 Inclui Bibliografia

 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Centro de Ciências
 e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande.

 1— Recursos Hídricos-Gerenciamento 2— Bacia Hidrográfica
 3— Análise Multicriterial 1— Título

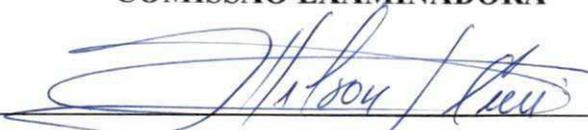
CDU 556.18

ROSINETE BATISTA DOS SANTOS

**APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITERIAL PROMETHEE PARA
AMPLIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL NA
BACIA DO RIO GRAMAME – PB**

Aprovada em 24 de Setembro de 2004

COMISSÃO EXAMINADORA



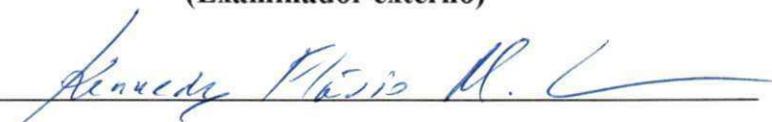
**Prof. Wilson Fadlo Curi (DF/UFCG)
(Orientador)**



**Profª. Rosires Catão Curi (DEC/UFCG)
(Orientadora)**



**Prof. Tarciso Cabral da Silva (CT/UFPB)
(Examinador externo)**



**Prof. Kennedy Flávio Meira de Lucena (CEFET/PB)
(Examinador)**

Campina Grande – PB

DEDICATÓRIA

A Deus, fonte da minha existência.

Aos meus pais Antônio Batista (in Memoriam) e Maria Salvina (in Memoriam), que me deram a vida e com os seus ensinamentos me fizeram trilhar os caminhos da existência com integridade e perseverança, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus e meus pais, por sempre me guiar.

Aos meus irmãos e familiares pelo incentivo e apoio prestados durante o curso, em especial à minha irmã Rosineide, que sempre esteve do meu lado e acreditou no meu trabalho.

Aos colegas de curso com que dividi alegrias e preocupações, Ana Cristina, Sérgio Roberto, Djalena Melo, Hérbete Hálamo, Carlos André, Elton Cruz, Osvalcílio Furtunato, em especial, à amiga Tatiana Máximo (Tati), por segurar na minha mão e me fazer acreditar que as barreiras existem para serem transpostas. Enfim, a todos que contribuíram para que pudesse vencer mais uma etapa da minha vida.

Aos professores Rosires Catão Curi e Wilson Fadlo Curi, pela orientação, incentivo e amizade prestada, principalmente, nas horas mais difíceis deste trabalho.

Aos professores da Área de Recursos Hídricos: Eduardo Enéas, Srinivasan, Márcia Ribeiro, Carlos Galvão, Schuster e Janiro, pela formação prestada.

Aos funcionários, em especial, Vera, Josete, Raul, Aurezinha, Ismael, Aroldo, Ronaldo e Valdomiro.

Ao professor Tarciso Cabral da Silva da UFPB (Universidade Federal da Paraíba); aos engenheiros Silvestre Rodrigues Neto, Lina Carmélia de Araujo, Abel Bezerra Junior e Adalberto Aragão de Albuquerque da CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba) e aos engenheiros Laudízio da Silva Diniz, Guttemberg S. Silvino, Ana Cláudia F. M. Braga da AAGISA (Agência de Águas, Irrigação e Saneamento da Paraíba) e Cícero Aurélio Grangeiro Lima da SEMARH (Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais da Paraíba), que gentilmente disponibilizaram dados e informações necessários à pesquisa.

A CAPES/CNPq, pela concessão da bolsa de Mestrado.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo a utilização da técnica de análise multiobjetivo no auxílio à tomada de decisão para construção de obras hidráulicas, visando a ampliação da oferta hídrica na bacia hidrográfica do rio Gramame, através do método PROMETHEE. Para a análise foram levados em consideração os aspectos econômicos, sociais e ambientais. Foram adotadas 5 alternativas e 18 critérios para a solução do problema. As obras a serem executadas visam atender um maior número possível de habitantes, ter o menor custo possível, causar o menor impacto à fauna e à flora e propiciar o menor índice possível de desmatamento. Porém, é quase impossível a implantação de uma obra que satisfaça todas estas exigências, isto é, inexistente uma alternativa que seja melhor para todos os critérios. O método mostrou-se adequado e fornece a classificação das alternativas sob o ponto de vista de todos os critérios através de níveis hierárquicos.

ABSTRACT

The aim of this study is to make use of a multiobjective analysis technique, through the PROMETHEE method, as a decision aid to build hydraulic works in the Gramame river basin in order to increase the water supply. For the analysis, economical, social and environmental aspects were taken into consideration. Five alternatives and eighteen criteria were adopted towards the solution of the problem. The works to be carried out aim at serving the majority of the inhabitants, at a minimal cost, while providing the least environmental impact. As it is almost impossible to carry out building works which satisfy all those requirements. The method has shown to be adequate and provides a classification of alternatives which conforms to all the criteria by means of hierarchical levels.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Funções de preferência	44
Figura 3.1	Localização da bacia do rio Gramame	50
Figura 3.2	Localização dos postos fluviométricos.....	51
Figura 3.3	Uso e ocupação do solo.....	53
Figura 3.4	Hidrografia, divisão política e rodovias.....	55
Figura 3.5	Barragem Mamuaba.....	60
Figura 3.6	Barragem Gramame.....	60
Figura 3.7	Canal de ligação entre as barragens Gramame e Mamuaba.....	60
Figura 3.8	Estrutura da demanda hídrica na bacia do Gramame.....	62
Figura 3.9	Evolução da estrutura da demanda.....	63
Figura 3.10	Evolução da demanda na Bacia.....	63
Figura 3.11	Esquema do sistema de abastecimento d' água de João Pessoa.....	70
Figura 3.12	Reservatório Marés	71
Figura 3.13	ETA Marés	71
Figura 3.14	Elevatória de água tratada Marés	71
Figura 3.15	Barragem de elevação de nível no rio Gramame.....	72
Figura 3.16	Estação elevatória de água bruta para a ETA Gramame	72
Figura 3.17	ETA Gramame	72
Figura 3.18	Esquema do sistema de abastecimento d' água do Conde.....	76
Figura 3.19	Esquema do sistema de abastecimento d' água de Pedras de Fogo.....	77
Figura 4.1	Layout do sistema.....	83
Figura 4.2	Mapa de identificação de pontos de cálculo.....	92
Figura 4.3	Organograma do funcionamento do método PROMETHEE.....	93
Figura 4.4	Critérios, atributos e sub-atributos.....	95
Figura 5.1	Posição das alternativas de acordo com o ranking.....	119
Figura 5.2	Preferência no ranking de acordo com o critério ambiental	120
Figura 5.3	Preferência no ranking de acordo com o critério social	121
Figura 5.4	Preferência no ranking de acordo com o critério econômico.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Matriz de avaliação	43
Tabela 3.1	Área das sub-bacias do rio Gramame	52
Tabela 3.2	Participação em área dos municípios na Bacia	52
Tabela 3.3	Ocupação e uso do solo	54
Tabela 3.4	Parâmetros fluvio-morfológicos da Bacia Gramame e principais sub-bacias	56
Tabela 3.5	Potencialidades subterrâneas por sub-bacia	58
Tabela 3.6	Disponibilidades subterrâneas por sub-bacia	58
Tabela 3.7	Demandas hídricas para o abastecimento da população urbana	65
Tabela 3.8	Demandas hídricas para o abastecimento da população rural	66
Tabela 3.9	Demandas hídricas para irrigação na bacia do rio Gramame	68
Tabela 3.10	Sistemas de abastecimento de João Pessoa	73
Tabela 3.11	Disponibilidade hídrica de projeto para a Grande João Pessoa	74
Tabela 3.12	Vazões naturais disponíveis nos mananciais da Grande João Pessoa	74
Tabela 3.13	Fontes de água adicionais para o sistema da Grande João Pessoa	75
Tabela 3.14	Características de sistemas de abastecimento d'água na bacia do rio Gramame	78
Tabela 3.15	Principais características das estações de tratamento ETA	78
Tabela 4.1	Identificação dos cenários de infra-estrutura	85
Tabela 4.2	Cálculo de falhas dos critérios	88
Tabela 4.3	Falha percentual total	90
Tabela 4.4	Cálculo de falhas, confiabilidade e vazão disponível das alternativas	91
Tabela 4.5	Custos de implantação e operação, em reais	98
Tabela 4.6	Custos de implantação e operação das alternativas	98
Tabela 4.7	Prejuízos e lucratividade com projetos de irrigação	100
Tabela 4.8	Falha no abastecimento	101
Tabela 4.9	Falha na irrigação	102
Tabela 4.10	Número de empregos gerados na agricultura	102
Tabela 4.11	Municípios com participação	103

Tabela 4.12	Desenvolvimento da pesca, ao ano	104
Tabela 4.13	Melhoria da saúde em função da confiabilidade no atendimento à demanda	105
Tabela 4.14	Vazão disponibilizada	106
Tabela 4.15	Desapropriação	106
Tabela 4.16	Danos à fauna e à flora	108
Tabela 4.17	Possibilidade de erosão	108
Tabela 4.18	Vazão disponibilizada	109
Tabela 4.19	Inundação	109
Tabela 4.20	Valores Curva cota-área-volume do reservatório planejado no rio Mumbaba	110
Tabela 4.21	Desapropriação	111
Tabela 4.22	Funções de preferência e pesos para os atributos do critério econômico	113
Tabela 4.23	Funções de preferência e pesos para os atributos do critério social	115
Tabela 4.24	Funções de preferência e pesos para os atributos do critério ambiental	116
Tabela 4.25	Síntese dos elementos necessários para avaliação multicriterial do problema	117
Tabela 5.1	Ordenação das alternativas na análise multicriterial	123

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1 - INTRODUÇÃO.....	11
1.1 - OBJETIVOS.....	13
1.2 - ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 - GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	15
2.2 - O GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	17
2.3 - CONSTRUÇÃO DE RESERVATÓRIOS E SEUS IMPACTOS.....	20
2.3.1 - Impactos Positivos Advindos da Construção de Barragens	21
2.3.2 - Impactos Ambientais Negativos e Medidas Mitigadoras e Compensatórias.....	24
2.3.2.1 - Meio Físico.....	25
2.3.2.2 - Meio Biótico.....	28
2.3.2.3 - Meio Antrópico	29
2.4 - ANÁLISE MULTIOBJETIVO.....	31
2.4.1 - Representação Analítica de um Problema Multicritério.....	33
2.4.2 - As Técnicas de Análise Multiobjetivo.....	35
2.4.2.1 - Técnicas de Geração das Soluções Não-dominadas	35
2.4.2.2 - Técnicas com Antecipação de Preferências.....	36
2.4.2.3 - Técnicas com Articulação Progressiva de Preferências	36
2.4.3 - Experiências com o Uso de Métodos de Análise Multicriterial.....	37
2.5 - O MÉTODO PROMETHEE.....	40
2.5.1 - Introdução.....	40
2.5.2 - A Matriz de Avaliação	42
2.5.3 - Função de Preferência.....	43
3 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA	49
3.1 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA.....	49

3.2 - CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E PLUVIOMÉTRICAS	57
3.3 - INVENTÁRIO HIDROLÓGICO SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO.....	57
3.4 - PRINCIPAIS RESERVATÓRIOS.....	59
3.4.1 - A Barragem Gramame-Mamuaba.....	59
3.4.2 - Barragens Planejadas.....	61
3.5 - DEMANDAS HÍDRICAS DO SISTEMA.....	62
3.5.1 - Breve Histórico das Demandas Hídricas do Sistema.....	62
3.5.2 - Projeção das Demandas Hídricas.....	64
3.5.2.1 - Abastecimento Humano.....	65
3.5.2.2 - Abastecimento Industrial.....	67
3.5.2.3 - Irrigação.....	67
3.5.2.4 - Dessedentação de Animais.....	68
3.5.3 - Sistema de Abastecimento D'água da Região Metropolitana de João Pessoa..	69
3.5.3.1 - Histórico dos Sistemas de Abastecimento D'água de João Pessoa	73
3.5.4 - Sistema de Abastecimento D'água do Conde	75
3.5.5 - Sistema de Abastecimento D'água de Pedras de Fogo.....	76
3.5.6 - Características dos Sistemas de Abastecimento e Tratamento de Água.....	77
3.5.7 - Desempenho Atual do Sistema.....	78
4 - METODOLOGIA.....	80
4.1 - PLANOS DE AÇÃO PROPOSTOS PARA A BACIA.....	80
4.1.1 - Reservatório no Alto Gramame.....	81
4.1.2 - Reservatório no Rio Mumbaba	81
4.1.3 - Importação de Água da Bacia Abiaí-Papocas.....	84
4.1.4 - Composição das Alternativas.....	84
4.2 - IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE.....	93
4.3 - DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS	94
4.3.1 - Critérios Segundo Objetivos Econômicos.....	96
4.3.1.1 - Custos de Implantação e Operação.....	96
4.3.1.2 - Projetos de Irrigação	98
4.3.2 - Critérios Segundo Objetivos Sociais	100
4.3.2.1 - Atendimento à Demanda e Geração de Empregos.....	101
4.3.2.2 - Perspectiva de Melhoria de Vida.....	103
4.3.2.3 - Desapropriação	106

4.3.3 - Critérios Segundo Objetivos Ambientais.....	106
4.3.3.1 - Impacto no Meio Biótico.....	107
4.3.3.2 - Impacto no Meio Abiótico.....	108
4.3.3.3 - Impacto no Meio Antrópico.....	111
4.4 - PESO DOS CRITÉRIOS.....	111
4.4.1 - Critério Econômico.....	112
4.4.2 - Critério Social.....	113
4.4.3 - Critério Ambiental.....	115
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	118
6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	125
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127

1 – INTRODUÇÃO

O Brasil apesar de deter 12% da oferta mundial de água, apresenta um cenário crítico no que se refere à questão hídrica. Até mesmo as regiões litorâneas, cujo índice pluviométrico é alto, sofrem os efeitos adversos da seca; a exemplo da Região Metropolitana do Recife - PE e a Grande João Pessoa no estado da Paraíba. Daí, a necessidade da implantação de políticas de gerenciamento dos recursos hídricos com o intuito de sanar problemas de conflitos e usos da água.

O planejamento de recursos hídricos está passando por reformulação onde os processos de avaliação de alternativas são feitos não apenas sob a ótica da análise econômica, cujo objetivo é a maximização dos benefícios econômicos; mas através de uma análise mais completa, a análise multicriterial. Porém, no Brasil, o planejamento através dessa análise ainda não está formalizado e a principal ferramenta de avaliação de projetos continua sendo, a análise de benefício-custo (Zuffo, 1998).

A área objeto deste estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Gramame, situada no litoral Sul do estado da Paraíba. É uma bacia de fundamental importância, pois é a principal responsável pelo abastecimento d'água do conglomerado urbano formador da grande João Pessoa e contém uma população expressiva no seu espaço geográfico. Os recursos hídricos desta bacia são usados para: irrigação, representando o maior consumo de água, e tendo como principais culturas a cana-de-açúcar e o abacaxi; consumo industrial, concentrado principalmente no Distrito Industrial de João Pessoa; mineração; turismo e lazer; dessedentação de animais; recepção de esgotos domésticos e industriais; abastecimento de água para as cidades de Conde e Pedras de Fogo e mais de 60% da

Grande João Pessoa (composta por: João Pessoa, Santa Rita, Bayeux e Cabedelo, estas duas últimas não pertencentes à bacia) (SEMARH /2000a).

A partir do levantamento de alguns métodos multicriteriais, foi selecionado o método PROMETHEE e utilizado para avaliar 05 alternativas para implantação de projetos de expansão e conservação do sistema acima citado, sob análise dos critérios econômico, social e ambiental.

Durante os anos de 1997/1999 a região da Grande João Pessoa também sofreu os efeitos adversos do fenômeno das secas, principalmente no que se refere ao trinômio: consumo humano, indústria e agricultura. Esses anos foram marcados por prolongados períodos de estiagem que resultou em grave crise no abastecimento d'água para a cidade de João Pessoa. Com isso, as águas subterrâneas do município foram subitamente valorizadas favorecendo a instalação de poços tubulares principalmente em áreas urbanizadas. Segundo consta no Plano Diretor de Recursos Hídricos desta bacia, a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) reativou poços que haviam sido desativados com a entrada em operação da barragem Gramame-Mamuaba com vistas a complementar a oferta d'água através da rede hidráulica existente. Porém, a própria companhia encara esta medida como sendo de caráter emergencial, haja vista a inexistência de estudos e dados confiáveis sobre os aquíferos utilizados. (SEMARH/2000a).

De acordo com informações contidas no plano diretor da bacia, um dos problemas enfrentados pela região, durante o período de escassez hídrica citado, foram os conflitos existentes entre a demanda de água requisitada para irrigação e a exportação de quantidade expressiva de água para cidades localizadas além dos limites geográficos da bacia (Bayeux, Cabedelo e a maior parte de João Pessoa). Contudo, alguns estudos vêm sendo realizados para reduzir os problemas de conflitos e usos da água – existentes durante períodos de estresse hídrico – como a construção de um reservatório de 41 milhões de m³ no Rio Mumbaba, outro de 8 milhões de m³ no alto Gramame próximo a cidade de Pedras de Fogo e a transposição de água da Bacia Abiaí-Papocas para a Bacia do Rio Gramame.

As demandas hídricas desta bacia referem-se aos usos consuntivos para abastecimento da população humana urbana e rural, às necessidades de água para indústrias, ao abastecimento dos animais e à água necessária à irrigação. Todavia, uma hierarquia no suprimento das demandas deve existir e ser respeitada principalmente em caso de demandas reprimidas pela insuficiência da disponibilidade hídrica. Esta hierarquia

prioriza em ordem decrescente o abastecimento humano, o abastecimento animal e por fim, o abastecimento industrial e a irrigação. O desrespeito a essa hierarquia é freqüentemente fonte de conflitos que, espera-se, serão fortemente reduzidos com a adoção de um sistema de gerenciamento dos recursos hídricos adequado e a execução do Plano de Obras de Aproveitamento Hidráulico para a bacia.

Baseado no exposto acima, é que se propõe neste trabalho a aplicação do método multicriterial PROMETHEE, para definição de uma ou mais ações preferenciais a serem implantadas na Bacia Hidrográfica do Rio Gramame. Visa garantir a ampliação da oferta de água de boa qualidade para cidades localizadas dentro e fora do espaço geográfico desta bacia, de tal maneira que a escassez hídrica relativa não continue a se constituir um fator negativo para o desenvolvimento sustentável da região, bem como mitigar os conflitos de uso da água entre irrigação e abastecimento da grande João Pessoa.

1.1 – Objetivos

O objetivo principal deste estudo é auxiliar à tomada de decisão quanto as melhores escolhas entre possíveis ações propostas, sob a ótica multicriterial, para a ampliação da disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Gramame, situada no litoral sul do estado da Paraíba, a fim de minimizar futuros conflitos de uso da água.

E tem como objetivos específicos:

- a caracterização dos conflitos;
- a caracterização das propostas de solução do problema que:
 - ✓ reduzam as falhas no atendimento às demandas urbanas;
 - ✓ reduzam as falhas no atendimento à irrigação;
 - ✓ promovam um aumento na implantação de projetos de irrigação;
 - ✓ promovam um aumento na geração de empregos na região;
 - ✓ mitiguem os conflitos de uso da água entre irrigação e abastecimento da Grande João Pessoa.

- a caracterização dos critérios/atributos a serem levados em consideração na análise multicriterial visando aspectos: econômicos, sociais e ambientais;
- obtenção dentre as alternativas estudadas as mais adequadas para o problema.

1.2 – Estrutura do Trabalho

Além deste capítulo, o presente trabalho é constituído de cinco capítulos, dispostos da seguinte maneira:

No Capítulo II (Revisão Bibliográfica) é feita uma abordagem sobre gerenciamento de recursos hídricos, sobre impactos decorrentes da construção de reservatórios e também, sobre análise multiobjetivo;

Já no Capítulo III (Descrição do Sistema) é apresentada a característica do sistema e um breve histórico do mesmo;

Enquanto que o Capítulo IV (Metodologia) contém os planos de ação propostos para a bacia, isto é, a descrição das obras de infra-estrutura hídrica a serem implantadas para ampliação da oferta hídrica na região; a composição das alternativas e também a definição dos critérios e os pesos a eles atribuídos;

No Capítulo V (Resultados e Discussão) é feita a apresentação dos resultados obtidos e a discussão acerca dos mesmos;

O último Capítulo (Conclusões e Recomendações) contém a conclusão do estudo realizado e recomendações para trabalhos futuros.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Gerenciamento de Recursos Hídricos

O Gerenciamento dos Recursos Hídricos é definido como um conjunto de ações governamentais (leis, medidas provisórias, normas e regulamentos) destinadas a administrar o armazenamento, uso, aproveitamento e preservação da água. É baseado no princípio de que a água deve ser gerenciada de forma (Campos, 2001):

- **descentralizada**, isto é, as decisões devem ser tomadas a nível territorial e de planejamento das próprias bacias hidrográficas;
- **integrada**, levando em consideração todas as fases do ciclo hidrológico e observando seus aspectos quantitativos e qualitativos;
- **participativa**, todo o processo de gerenciamento, a nível de bacia hidrográfica, conta com a participação de representantes dos usuários, das instituições governamentais e não governamentais e da sociedade civil organizada, sendo a bacia hidrográfica a unidade de planejamento e atuação.

Segundo Azevedo e Baltar (2000), o desenvolvimento do gerenciamento de recursos hídricos, tanto em países industrializados quanto naqueles em desenvolvimento, foi promovido e orientado para setores econômicos específicos, tais como produção de energia, abastecimento de água e agricultura irrigada. Assim, o setor de recursos hídricos evoluiu de uma forma fragmentada, onde teve por prioridade a ampliação da oferta para satisfação de demandas específicas. Após algum tempo, constatou-se que os altos

investimentos públicos em infra-estrutura não estavam sendo utilizados plenamente nos benefícios sociais e econômicos a que se destinavam, sobretudo para os mais pobres. Então, evidenciou-se a necessidade de se rever o modelo vigente, através de uma nova abordagem que tinha como fundamento a integração inter-setorial, a participação social e o gerenciamento da demanda.

Diante da percepção, mais abrangente, da água como um bem escasso e dos crescentes problemas relacionados à falta e à poluição dos recursos hídricos, governos e a sociedade em geral se mobilizaram para discutir o problema e buscar novas alternativas para inverter a tendência que se configurava e resultou na definição de princípios para novos rumos a serem seguidos. A Conferência Internacional sobre Recursos Hídricos e o Meio Ambiente: Temas de Desenvolvimento para o Século 21, realizada em janeiro de 1992, em Dublin, destacou novos enfoques sobre a avaliação, o desenvolvimento e o gerenciamento de recursos hídricos. Em seu relatório constam recomendações de ação em nível local, nacional e internacional baseadas, segundo Azevedo e Baltar (2000), nos princípios básicos a seguir:

- a) o gerenciamento eficiente dos recursos hídricos requer uma abordagem abrangente, associando o desenvolvimento social e econômico à proteção dos ecossistemas naturais;
- b) o desenvolvimento e o gerenciamento de recursos hídricos devem ocorrer de forma participativa, envolvendo usuários, técnicos, políticos, etc.;
- c) a água deve ser reconhecida como um bem econômico;
- d) a mulher tem um papel fundamental no uso e na proteção dos recursos hídricos.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e desenvolvimento (ECO-92), realizada em junho de 1992, no Rio de Janeiro, confirmou a necessidade de reforma do gerenciamento de recursos hídricos. Em seu relatório consta que “o gerenciamento holístico dos recursos hídricos, como um recurso finito e vulnerável, e a integração de planos e programas setoriais nas diretrizes sociais e econômicas nacionais são de grande importância às ações dos anos 90 e, além disso, o gerenciamento integrado dos recursos hídricos deve ser baseado na percepção da água como uma parte integrante do ecossistema, um recurso natural e um bem social e econômico”. Na Conferência foi enfatizada “a implementação de decisões sobre a alocação da água através do gerenciamento das demandas, mecanismos de preços e medidas reguladoras” (Azevedo e Baltar, 2000).

O Banco Mundial, em parceria com governos e instituições, tem elaborado vários projetos que visam alavancar economias, induzir o desenvolvimento sustentável, propiciar a implementação de infra-estrutura, otimizar a produtividade e preservar o meio ambiente, culminando sempre com melhoria da qualidade de vida das populações.

Segundo Lanna (1997), a complexidade das decisões que fazem parte da Engenharia de Recursos Hídricos decorre das diferentes possibilidades de suprimento às demandas e das variabilidades destas demandas, cujas principais características inserem-se nas três classes a seguir:

- **infra-estrutura social** - referente às demandas gerais da sociedade nas quais a água é um bem de consumo final;
- **agricultura e aquicultura** - são as demandas de água como bem de consumo intermediário que visa criar condições ambientais adequadas para o desenvolvimento de espécies animais ou vegetais de interesse para a sociedade;
- **industrial** - demandas para atividades de processamento industrial e energético nas quais a água entra como bem de consumo intermediário.

Quanto à natureza da utilização existem três possibilidades (Lanna, 1997):

- 1- **Consuntivo**: usos que retiram a água de sua fonte natural diminuindo suas disponibilidades quantitativas, espacial e temporalmente;
- 2- **Não consuntivo**: referentes aos usos em que a água utilizada retorna quase que na sua totalidade à fonte de suprimento, podendo haver alguma modificação no seu padrão temporal de disponibilidade quantitativa;
- 3- **Local**: são os usos que aproveitam a disponibilidade de água em sua fonte sem causar modificação relevante, temporal ou espacial, de disponibilidade.

2.2 – O Gerenciamento dos Recursos Hídricos no Brasil

No Brasil, os avanços no setor de recursos hídricos, alcançados pela parceria entre as políticas do Governo e as estratégias do Banco Mundial, têm contribuído de forma

decisiva para a conservação, uso eficiente e expansão do suprimento de água em regiões castigadas pela escassez, como a região Nordeste. Os projetos financiados pelo Banco, também, têm promovido o desenvolvimento de políticas, marcos legais e o fortalecimento de instituições que, associados a investimentos em infra-estrutura, promovem o uso mais racional dos recursos hídricos e permitem a redução da poluição e da degradação dos cursos d'água.

O Brasil detém 12%, aproximadamente, da disponibilidade de água doce do mundo, porém distribuída irregularmente. Cerca de 80% desta água concentra-se na Bacia Amazônica, onde residem apenas 5% da população nacional; a região Nordeste, onde vivem 35% dos brasileiros, dispõe de apenas 4% dos recursos hídricos. A deterioração da qualidade da água nas regiões Sul e Sudeste, com mais de 50% da população brasileira, é a principal responsável pela escassez nessas regiões, o que torna inviável a utilização de importantes mananciais e, também, insuficiente a oferta remanescente para atender às diversas demandas. Assim, a abundância em termos absolutos é convertida em uma escassez relativa, tanto por razões naturais quanto pelo mal uso e ação predatória do homem sobre o meio (Azevedo e Baltar, 2000).

A situação agravou-se na segunda metade do século XX devido ao aumento populacional em praticamente o triplo, o rápido processo de industrialização e de urbanização ocorrido nesse período e, também, a expansão da agricultura irrigada, aumentando consideravelmente as demandas por água.

Inicialmente, o processo de gerenciamento de recursos hídricos para atendimento a essas demandas ocorreu de forma centralizada, fragmentada e visava interesses econômicos específicos, principalmente no setor de geração de energia hidrelétrica, e, posteriormente, no abastecimento de água dos centros urbanos. Esse modelo promoveu uma desigualdade na distribuição da infra-estrutura de recursos hídricos no país, beneficiando com investimentos federais as regiões Sul e Sudeste onde era maior o desenvolvimento econômico.

Todavia, a inadequada atenção à administração, operação e manutenção dos sistemas existentes tem resultado na degradação da infra-estrutura já implementada, reduzindo gradativamente sua capacidade de oferta. Esse problema vem se agravando em virtude do pouco uso de adequados instrumentos econômicos e mecanismos financeiros que permitissem a recuperação dos custos e a sustentabilidade dos sistemas.

Há deficiência também com relação aos impactos ambientais dos projetos de aproveitamento de recursos hídricos, a exemplo de retiradas de água de cursos naturais para usos consuntivos, pequenas usinas hidrelétricas e poços instalados sem qualquer autorização ou até mesmo sem registro. Outro fator diz respeito às descargas de efluentes industriais e domésticos lançados freqüentemente sem qualquer tratamento em rios e lagos, resultando num processo intenso de degradação.

A falta de gerenciamento integrado, intersetorial, que vise aspectos de quantidade e qualidade dos recursos hídricos, aumenta os conflitos entre usuários que competem pela mesma água, inclusive em rios mais importantes do país, como o rio São Francisco.

Dentre os problemas que atingem diretamente a população brasileira, as secas no Nordeste e a poluição dos cursos d'água se destacam pelo enorme impacto social e pela pressão que exercem sobre o Governo no desenvolvimento de vultosos programas de investimento.

As condições adversas de qualidade resultante da poluição dos cursos d'água acarretam sérios problemas ambientais, uma grave ameaça à saúde humana e podem inviabilizar o uso da água para diversas finalidades; tornando assim, uma outra forma de escassez. Para que se tenha uma idéia da gravidade do problema, cerca de 90% do esgoto urbano do Brasil é hoje lançado sem tratamento adequado nos cursos d'água (Azevedo e Baltar, 2000).

Desde o final da década de oitenta vem sendo implementada a reforma legal e institucional, que foram relacionadas como os avanços mais significativos no gerenciamento de recursos hídricos no Brasil. Enorme esforço tem sido adotado pelo Governo brasileiro, em parceria com a sociedade civil organizada, para adoção de um modelo mais eficiente, cuja linha de ação deixa de ser baseada na ampliação de oferta e quantidade de água, passando a dar ênfase à alocação e à qualidade dos recursos hídricos. Isso tem se refletido em importantes mudanças na estrutura institucional para gerenciamento de recursos hídricos nos níveis federal e estadual.

2.3 – Construção de Reservatórios e seus Impactos

A construção de reservatórios de contenção de água, através de barragens em leitos de rios, geram impactos ambientais, na maioria das vezes diretamente proporcionais à área inundada. Segundo Matos *et al.* (2003), a avaliação da construção de um reservatório de água depende do fim a que ele se destina, isto é, um reservatório cuja finalidade é produzir energia elétrica não deve ser avaliado da mesma forma que um outro destinado ao abastecimento público ou para viabilização da atividade agropecuária, principalmente projetos de irrigação.

O benefício com o atendimento à demanda de água para abastecimento público supera o custo ambiental, uma vez que o impacto da falta d'água nas cidades e indústrias apresenta conseqüências desastrosas.

A sustentabilidade da agropecuária, em grande parte das propriedades agrícolas, está associada à reservação de água para uso em períodos de escassez, cuja solução geralmente se dá com a construção de pequenos reservatórios. A inviabilidade no armazenamento de água nas propriedades agrícolas resulta em outros impactos de maior dimensão, tais como: aumento da miserabilidade e do êxodo rural e, com isso, todos os problemas decorrentes dele; a exemplo da diminuição da produção de alimentos, inflação, inchamento das cidades, diminuição da qualidade de vida, aumento da violência, etc.

A representatividade dos impactos decorrentes da construção de pequenos reservatórios geralmente é baixa quando comparados com os benefícios que eles podem proporcionar (Matos *et al.*, 2003).

Várias são as finalidades a que se destina a construção de diques e barragens, entre elas têm-se: a geração de energia elétrica, o controle de enchentes e regularização de vazões, a navegação, o abastecimento doméstico, a irrigação, a dessedentação de animais, a piscicultura, o paisagismo e a recreação. Para possibilitar a concretização desses objetivos, as barragens deverão garantir um volume ou nível de água suficiente para suprir os usos a que se destina a construção do reservatório. No caso da navegação deve ser assegurada uma profundidade mínima; para a geração de energia elétrica, abastecimento público ou irrigação faz-se necessário o fornecimento contínuo de vazão; o desenvolvimento de piscicultura, atividades recreativas ou paisagismo local

requerem o acúmulo de um volume de água; e, no caso de controle de enchentes, a barragem deverá proporcionar a contenção de um volume de água disponível que poderia provocar enchentes a jusante.

É sabido que a construção de barragens e a formação de reservatórios podem provocar impactos ambientais. No entanto, deve-se atentar para a relevância da construção desses empreendimentos no que tange a viabilização do abastecimento doméstico e industrial, a geração de energia elétrica, a produção agrícola e a criação de animais.

A seguir tem-se uma abordagem sobre os aspectos positivos e negativos associados à construção de barragens.

2.3.1 – Impactos Positivos Advindos da Construção de Barragens

- Regularização de vazão

A grande variabilidade temporal das vazões em um rio resulta em excessos nos períodos mais úmidos e a carência nos períodos secos. Sendo assim, a regularização torna-se de extrema importância, pois permite a acumulação dos excessos para atender aos períodos em que as vazões naturais são inferiores às vazões necessárias para atendimento às demandas. A acumulação de água é obtida pela construção de barragens, cuja finalidade é reservar água nos períodos chuvosos para atender os usos durante os períodos de estiagem, onde ocorre geralmente uma demanda máxima de água nos diversos segmentos, em especial pela agricultura irrigada, principal usuário de água no Brasil e no mundo.

- Acumulação de água para abastecimento público e industrial

De acordo com Matos *et al.* (2003), o consumo médio diário para satisfazer as necessidades humanas é de 200 litros por habitante, apesar de sua dependência a aspectos sócio-cultural e econômico. Entretanto, no suprimento do consumo industrial tem-

se uma grande variação, sendo função do tipo de produto e do processo empregado. As usinas sucro-alcooleiras utilizam entre 150 e 300 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar processada enquanto as indústrias de celulose e papel utilizam entre 20 a 450 m³ por tonelada de polpa produzida. A construção de reservatórios para fornecimento de água para esses fins evita problemas de abastecimento nos períodos mais secos do ano, que causariam queda na produção e, conseqüentemente, o desemprego (Matos *et al.*, 2003).

- Atenuação dos danos decorrentes de cheia

A cheia resulta do excesso de escoamento superficial que não pode ser transportada pelo leito do rio sem causar possíveis danos sócio-econômicos e ambientais. A construção de reservatórios de regularização de vazões é uma das medidas disponíveis para atenuar os danos causados às áreas marginais aos rios. Quando a onda de cheia entra no reservatório sofre uma variação no seu comportamento, modificando a altura da lâmina acumulada, que decorre na alteração do volume de água acumulado e na área da bacia de acumulação e, com isso, há um retardo na hidrógrafa de saída.

- Viabilização da agricultura e pecuária

A construção de barragens tem efeitos benéficos nas regiões em que os cultivos agrícolas necessitam de suplemento de água, via irrigação; em determinados períodos do ano e, também, quando a disponibilidade de água para a dessedentação de animais é baixa.

- Favorecimento do desenvolvimento da piscicultura

A produção de peixes pode tornar-se uma alternativa para a geração de renda, bem como promover atividades esportivas, podendo ser fonte geradora de emprego para a população ribeirinha.

- Disponibilização de água para animais domésticos e silvestres

A disponibilidade de água através de lagos, represas e açudes, geralmente, apresenta um melhor acesso do que nos cursos d'água encaixados em vales de difícil acesso ou que têm a vazão muito reduzida em períodos de seca.

- Aumento da recarga de água subterrânea e elevação do nível freático

A elevada carga hidrostática sobre o terreno e o aumento da área para infiltração favorecem maior recarga de água aos mananciais subterrâneos. O aumento do escoamento de base é garantido pelo abastecimento de aquíferos subterrâneos. Sendo assim, as oscilações de vazão em cursos d'água superficiais são minimizadas.

A elevação do nível freático pode proporcionar uma maior disponibilidade de água para as plantas, devido ao efeito da ascensão capilar, e, também, possibilitar fluxo de água subterrânea suficiente para a manutenção da vazão e perenização de pequenos córregos que são influenciados pelas águas freáticas.

O aumento da retenção (abstração superficial) de água na bacia hidrográfica possibilita o aumento da vazão de base. Uma das técnicas considerada mais eficazes para esse fim é a construção de barragens e de seus respectivos reservatórios de contenção.

- Depuração de águas poluídas

O tempo de detenção da água represada é suficiente para que ocorra a sedimentação de partículas em suspensão e, conseqüentemente, a diminuição da turbidez das águas; o que resulta em uma redução dos custos de tratamento. Além disso, os reservatórios podem funcionar como grandes lagoas de estabilização, isto é, as algas se aproveitam da disponibilidade de nutrientes em solução e da luz solar e liberam oxigênio como produto da fotossíntese; enquanto os microorganismos aeróbios, na presença de oxigênio dissolvido no meio, degradam o material orgânico em suspensão, possibilitando com isso a depuração da água. Da mesma forma, há uma redução na contaminação das águas com bactérias provenientes do trato intestinal de animais de sangue quente, o que contribui para menores riscos de incidência de doenças de veiculação hídrica.

A regularização das vazões deve proporcionar a redução do impacto na qualidade do curso d'água a jusante do reservatório através da diluição de esgotos nos períodos de estiagem.

- Ponto de lazer e recreação

Geralmente, os reservatórios e açudes tornam-se centros para o desenvolvimento de práticas esportivas e de lazer e podem ser explorados com atividades econômicas, podendo também gerar empregos.

- Melhoria no microclima local

O elevado calor específico da água atua como importante fator de equilíbrio ambiental, isto é, contribui para que haja diminuição da oscilação térmica diária e anual e aumento da umidade relativa do ar, aspecto favorável para regiões de clima seco; o lago de Paranoá, no Distrito Federal é um exemplo de construção de reservatório, onde um dos objetivos da obra foi a melhoria no microclima.

2.3.2 – Impactos Ambientais Negativos e Medidas Mitigadoras e Compensatórias

Apesar de serem projetadas dentro de técnicas modernas, as barragens provocam impactos ambientais negativos. Por isso, no dimensionamento, implantação e operação de barragens devem ser adotadas várias medidas para evitar ou atenuar esse tipo de impacto. A seguir serão apresentados os principais impactos negativos decorrentes da implantação de barragens bem como as possíveis soluções para minimizar ou mitigar esse problema.

2.3.2.1 – Meio Físico

- Perda irreversível das áreas inundadas

A construção de reservatórios de grandes espelhos d'água pode inutilizar áreas expressivas para fins agrícolas ou outras atividades. No entanto, deve-se perceber a valoração de propriedades de baixo valor comercial e sem exploração, que são incorporadas ao processo produtivo devido a proximidade e a possibilidade de um custo inferior do insumo água, que antes era pouco utilizada por razões econômicas (custo de bombeamento). Diante disso, a relação custo-benefício do investimento na correção do solo e fertilização poderá tornar-se mais favorável.

- Degradação de áreas usadas para o empréstimo e o depósito de material rochoso e de bota-fora para a construção de barragem

A remoção da cobertura vegetal, compactação do solo e disposição de rejeitos da construção são fatores que provocam alterações nos terrenos.

Para mitigar os impactos causados por áreas de empréstimo deve-se escolher, sempre que possível, áreas que serão inundadas, evitando-se impactos ambientais negativos sobre a paisagem. Porém, a recuperação dessas áreas é obtida pela remodelação do terreno através da atenuação dos taludes íngremes e da suavização das formas retilíneas de modo a reintegrar o local à paisagem e evitar, conseqüentemente, o desenvolvimento de processos erosivos. Outra medida fundamental refere-se ao recobrimento da superfície com a camada de solo removido no início da exploração da área.

- Instabilidade dos taludes marginais do reservatório

Deve-se fazer a estabilização dos taludes marginais do reservatório para evitar o desmoronamento das encostas e, com isso, provocar o assoreamento do leito do açude e prejuízos à paisagem e à recuperação da mata ciliar.

Outra medida a ser adotada é o controle de deslizamento de encostas marginais através do uso de técnicas de engenharia e o plantio de espécies de sistema radicular profundo e difuso.

- Riscos de eutrofização da água

Grandes quantidades de nutrientes presentes nos reservatórios podem provocar graves impactos, principalmente em áreas de clima quente que são favoráveis ao rápido e forte crescimento de algas e plantas aquáticas superiores. Estas consomem o oxigênio dissolvido na água e podem dificultar o aproveitamento da água, especialmente quando a barragem for destinada ao abastecimento público e piscicultura.

O controle da eutrofização das águas, recomendado tanto para reservatórios como para cursos d'água, é obtido através do impedimento do lançamento de efluentes ricos em fósforo e nitrogênio (esgotos domésticos, águas residuárias agroindustriais, criatórios de animais e de escoamento superficial de áreas agrícolas fertilizadas) nas águas. Para que o problema possa ser minimizado devem ser implantadas as seguintes medidas: a conscientização da população quanto aos riscos do lançamento de resíduos orgânicos na água, quanto à forma correta de aplicação de fertilizantes e de disposição de águas residuárias no solo, o tratamento de efluentes antes do seu lançamento no reservatório e o reflorestamento das margens do lago.

- Aumento do potencial evaporativo da água (principalmente em regiões áridas e semi-áridas)

A construção de reservatórios de acumulação é favorável para o aumento da evaporação devido ao aumento da superfície líquida sujeita ao processo evaporativo. Conseqüentemente, há uma redução da vazão média de longa duração do rio a jusante da barragem e causa aparentes prejuízos aos demais usos.

Segundo a análise dos efeitos decorrentes da construção do reservatório de Sobradinho, situado no Rio São Francisco, as perdas por evaporação neste é da ordem de 200 m³/s, que induz a uma abstração no volume total de água que escoam a jusante do barramento e, conseqüentemente, na associação de grandes prejuízos com a construção do reservatório. Porém, uma análise mais detalhada desse comportamento evidencia um

incremento de 500 m³/s na vazão média mensal do mês mais seco e uma redução da ordem de 1000 m³/s na vazão média mensal do mês mais chuvoso. Diante do exposto, provavelmente o efeito da redução da vazão média de longa duração em cerca de 200 m³/s poderia ser compensado pelo aumento de 500 m³/s na vazão média mensal do mês mais seco (quando há um aumento da demanda) e pela redução da ordem de 1000 m³/s na vazão média mensal do mês mais chuvoso (prevenção de enchentes).

- Elevação no nível do lençol freático de áreas a montante do reservatório: problemas sanitários de contaminação com material de fossas sépticas, aterros sanitários e cemitérios

A elevação do nível d'água no reservatório resulta na elevação do nível do lençol freático e, na presença de material fecal de fossas sépticas, aterros sanitários e cemitérios a montante da barragem, poderá provocar riscos de contaminação de águas subterrâneas.

- Risco de produção de metano que causa problemas de efeito estufa

A área a ser inundada deve ser totalmente limpa para evitar prejuízos à navegação e à pesca; o risco de danos por agressão química às turbinas (em caso de hidrelétrica) e à estrutura da barragem e a putrefação do material orgânico no fundo do reservatório, que pode resultar na geração do gás metano – um dos responsáveis pelo efeito estufa no planeta.

A legislação brasileira (Lei nº 3.824, de 23 de novembro de 1960) obriga a limpeza das bacias hidráulicas dos açudes, represas ou lagoas artificiais e permite apenas, a reserva de áreas com vegetação necessária à proteção da ictiofauna e das reservas indispensáveis à garantia da piscicultura (Matos *et al.*, 2003).

- Alterações na paisagem regional

A implantação de medidas de remodelamento de áreas de empréstimo e de recuperação da mata ciliar promove uma melhora considerável na paisagem.

2.3.2.2 – Meio Biótico

- Perda de florestas e de espécies da flora, e diminuição de área para sobrevivência de animais terrestres de vida silvestre

Ao planejar uma barragem, deve-se atentar para o local da represa, isto é, escolher a melhor área e a melhor cota de inundação. Evitar áreas em que ocorrerão perdas de florestas primárias, áreas de grande capacidade agrícola ou áreas urbanas.

Segundo recomendações de Matos *et al.* (2003), a inundação de áreas de matas ribeirinhas ou de áreas de proteção permanente pode ser compensada, caso o empreendedor crie áreas de preservação permanente (faixas de 20 a 50 metros de largura, dependendo da área de espelho d'água do reservatório) ao redor do reservatório e forem empreendidos esforços para aproveitar, ao máximo, espécies nativas na área de mata ciliar. Outra importante medida de compensação, segundo os autores, é a remoção dos animais das áreas a serem inundadas e a manutenção em unidades de conservação (Resolução 010/87 do CONAMA), com posterior soltura nas áreas de proteção permanente criadas, quando elas estiverem em condições ideais para serem usadas como refúgio dos animais.

- Modificação brusca de um ecossistema terrestre para aquático

A construção de barragem contribui para modificação brusca de um ecossistema terrestre para aquático, além da mudança de um ecossistema lótico (águas correntes no curso d'água) para lêntico (águas de baixa velocidade no lago artificial ou reservatório).

O impacto negativo causado sobre a vida silvestre, devido à expulsão de animais terrestres das áreas inundadas, pode ser compensado com a criação de áreas reflorestadas (mata ciliar) ao redor de todo o reservatório.

- Alterações na composição da ictiofauna

A ictiofauna (espécies de peixes) local poderá sofrer alterações, uma vez que espécies nativas podem não se ambientar no novo habitat devido a alteração de ambiente lótico para lântico. A compensação poderá ocorrer através da introdução de alevinos de espécies de peixes de elevado valor econômico e com melhor adaptação ao novo meio. Porém, deve-se seguir orientação de órgãos ambientais para escolha das espécies a serem utilizadas evitando, assim, a presença de predadores.

- Interrupção da migração de peixes

O barramento do curso d'água compromete a passagem de algumas espécies que habitualmente migram durante determinadas épocas do ano (fenômeno da piracema). Para minimizar este dano ambiental deve-se introduzir formas de transposição da barragem, como a construção de “escadas”.

- Riscos de proliferação de vetores de doenças associadas à água (malária, esquistossomose, etc)

Deve ser dada especial atenção quanto à escolha do local da construção da barragem, pois em regiões de clima tropical, principalmente, esse tipo de construção faz surgir ambientes favoráveis à proliferação de vetores transmissores de doenças ligadas à água como malária, esquistossomose e outras. Outra medida de combate às doenças de veiculação hídrica é através do controle do crescimento de plantas aquáticas nas margens do reservatório – habitat ideal para a deposição de ovos de insetos e a fixação de caracóis hospedeiros do agente patogênico da esquistossomose.

2.3.2.3 – Meio Antrópico

Caso não seja dada a devida importância aos aspectos relacionados com a estrutura social, econômica, demográfica e cultural da população atingida pela inundação

da área do reservatório poderá haver aumento de conflitos e empobrecimento tanto econômico quanto cultural das populações envolvidas. Sendo assim, devem-se buscar medidas adequadas que, além de atenuarem os impactos ambientais negativos; também, produzam benefícios econômicos e ambientais necessários às comunidades afetadas.

- Prejuízo no uso da água para outros fins

A alteração dos fins de utilização da água a que se destina a construção de uma barragem é, geralmente, fonte de conflitos. Os diversos usos a jusante da barragem, devem ser garantidos, obrigatoriamente. Porém, isso só é possível com a manutenção de uma vazão compatível com a vazão de demanda anterior. Por essa razão devem ser feitos planejamentos prévios dos usos da água do reservatório para garantir o melhor aproveitamento econômico e social da água acumulada.

- Necessidade de deslocamento de populações de áreas inundadas

Caso a área de inundação da barragem atinja áreas urbanas e agrícolas, deve-se tentar solucionar de maneira democrática e participativa, tanto os problemas econômicos (indenização justa, substituição das bases de subsistência) resultantes de um possível reassentamento, como os sociais (moradia, infra-estruturas social e sanitária) e os culturais (translado de cemitérios e instalações culturais e de culto, vínculos etnológicos).

- Perda, de forma irreversível, de sítios histórico-culturais e paisagens de grande valor ecológico

Sítios histórico-culturais e paisagens de grande valor ecológico e/ou turístico podem ser submergidos, em determinadas situações, devido à inundação provocada por reservatório. Tendo em vista a compensação da perda de paisagens de valor ecológico, podem ser adotadas como medidas a criação de uma nova área de preservação permanente e a manutenção das condições do espelho d'água sempre limpo e isento de plantas aquáticas.

- Possível interrupção de rodovias, estradas rurais e inundação de cidades ou vilas

A construção de uma barragem pode gerar desvantagens econômicas e sociais para os habitantes ribeirinhos e para a região através da interrupção de rodovias, estradas rurais e demais vias de comunicação e até mesmo de toda cidade.

- Riscos de aumento da miserabilidade e de extermínio de grupos étnicos

Os grandes projetos de barragens atingem, em maiores proporções, as populações rurais e indígenas pelas suas características de vida e sua forte vinculação com a terra, que é seu principal meio de produção. Deve ser feito assessoramento técnico com os afetados por esse tipo de empreendimento, especialmente aqueles que terão de substituir a atividade de extrativismo vegetal e caça por atividade de pesca.

- Aumento da taxa de desemprego rural

O planejamento adequado do reservatório para irrigação, pesca, práticas esportivas e turismo poderá ser fonte de emprego para a população local, do contrário poderá haver desemprego na área do empreendimento.

2.4 – Análise Multiobjetivo

A complexidade dos problemas reais que surgem na sociedade moderna é caracterizada, principalmente, pela divergência de pontos de vista, refletindo aspectos econômicos, sociais, políticos, físicos, de engenharia, administrativos, psicológicos, éticos, estéticos, etc. Geralmente, não existe uma solução admissível que garanta o melhor em todos os aspectos de avaliação, então os modelos multicriteriais se revelam adequados para representar esta realidade. Estes métodos buscam a otimização do conjunto das funções-objetivo, através de critérios e julgamento das alternativas de solução do problema.

No início da década de 70, foram desenvolvidos os primeiros métodos de análise multicriterial (multiobjetivo ou multiatributo), que surgiram inicialmente em três grandes áreas: Pesquisa operacional, Economia e Psicologia. Desde então, a programação multiobjetivo, incorporada ao planejamento de recursos hídricos, tem crescido consideravelmente (Wen e Lee, 1998).

Com a análise multicriterial passou-se a:

- considerar vários objetivos conflitantes ou pelo menos divergentes, ao invés de um único objetivo como ocorria em análise de otimização;
- levar em consideração aspectos qualitativos.

A solução ótima, em problemas com um único objetivo, é atingida através da maximização ou minimização de uma função objetivo. Enquanto, na análise multiobjetivo ou multicriterial, a melhor solução será aquela de melhor compromisso, ou seja, a que atender melhor aos objetivos do conjunto. Ela não representa, necessariamente, o ótimo (a melhor solução) para todos os objetivos. Daí, a otimização multicriterial é uma extensão da teoria da otimização, onde vários objetivos são “otimizados” simultaneamente e é conhecida por: otimização de Pareto, vetor de otimização, otimização eficiente, otimização multicriterial, entre outros. As soluções são denominadas como ótimo de Pareto, vetor máximo, pontos eficientes e soluções não-dominadas. Em problemas com múltiplos objetivos inexistem um único ótimo, e sim, um conjunto de ótimos que satisfazem de formas diferentes os diferentes objetivos da análise.

Diante da existência de múltiplos objetivos, a noção de solução ótima cede lugar à noção de solução não-dominada, caracterizada por não existir outra solução que melhore, simultaneamente, todos os objetivos, isto é, a melhoria de um objetivo é alcançada à custa da degradação do valor de pelo menos um dos outros (Gonçalves, 2001).

Na análise multiobjetivo, a classificação é feita com base em determinados critérios de avaliação e sob condições e cenários específicos que, se alterados, poderão indicar outra alternativa como melhor solução.

As técnicas de análise multiobjetivo são recentes, tendo o seu desenvolvimento conceitual ocorrido a partir de 1970 e as experiências concretas nos últimos vinte anos. São caracterizadas pela complexidade e pela controvérsia, sob determinados aspectos, mas têm demonstrado sua validade em muitas situações, como meios importantes de apoio à tomada de decisões na área dos recursos hídricos (Jardim, 1999).

O método pode falhar, em alguns casos, devido a interesses radicalmente conflitantes, isto é, quando os decisores avaliarem de forma muito diferente os objetivos fixados.

A seguir serão dispostos alguns conceitos importantes utilizados na análise multicritério (Bartolomeu e Ferreira, 2000):

Tomada de Decisão: “É o processo de escolha ou seleção de alternativas ou caminhos de ação ‘suficientemente bons’ entre os grupos de alternativas, para atingir um objetivo ou alguns objetivos”.

Alternativas: “É um conjunto de produtos, ações, itens de escolha ou estratégias”.

Atributos: “Cada alternativa é definida pelo conjunto de características, geralmente representadas por características físicas tais como peso, cor, etc”.

Objetivos: “É a meta que se deseja atingir ao escolher uma alternativa após avaliar os seus atributos”. Ex: comprar um carro (objetivo). Consideram-se atributos preço, velocidade máxima, conforto, etc., das alternativas Corsa-GM, Passat-VW, etc.

Preferências ou Pesos: “É a importância relativa de cada atributo entre os demais atributos ou a relativa importância de cada atributo com relação à situação”.

2.4.1 – Representação Analítica de um Problema Multicritério

Cohon e Marks (1975) conceituaram o problema multiobjetivo, analiticamente, como um processo de otimização por vetor, com a seguinte estrutura:

$$\text{Max } \mathbf{Z}(\mathbf{x}) = [Z_1(\mathbf{x}), Z_2(\mathbf{x}), \dots, Z_p(\mathbf{x})]$$

Sujeito a:

$$g_i(\mathbf{x}) \leq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Onde:

$\mathbf{Z}(\mathbf{x})$ = função-objetivo p-dimensional;

p = número de objetivos;
 $g_i(\mathbf{x})$ = função-restrição m -dimensional;
 m = número de restrições;
 \mathbf{x} = vetor n -dimensional das variáveis de decisão;
 x_j = j -ésima variável de decisão.

Para o conjunto X das soluções viáveis no espaço das variáveis de decisão, tem-se:

$$X = \{ \mathbf{x} \mid g_i(\mathbf{x}) \leq 0 \text{ e } x_j \geq 0, \text{ para todo } i, j \}$$

$$\mathbf{x} \in X$$

Uma *solução não-dominada* \mathbf{x} é uma solução viável do conjunto X , não havendo outra solução viável $\mathbf{x}' \in X$, em que ocorram:

$$Z_r(\mathbf{x}') > Z_r(\mathbf{x}) \quad \text{para algum } r = 1, 2, \dots, p$$

$$\text{e } Z_k(\mathbf{x}') \geq Z_k(\mathbf{x}) \quad \text{para todo } k \text{ diferente de } r.$$

O conjunto X^* das *soluções não-dominadas* é representado por:

$$X^* = \{ \mathbf{x} \mid \mathbf{x} \in X \text{ e } \mathbf{x} \text{ conforme definido acima} \}.$$

A otimização do processo decisório de escolha da mais adequada das *soluções não-dominadas*, sob os critérios de avaliação adotados e para as condições peculiares de cada problema, é obtida através da análise multiobjetivo com a utilização de vários métodos (Jardim, 1999).

Para a avaliação das questões de difícil mensuração, a exemplo das ambientais, sociais, culturais e de bem-estar da população, surge um dos aspectos críticos da análise multiobjetivo, que é a *subjetividade* inerente ao processo. Esse importante fator depende, essencialmente, do julgamento humano, em termos de preferências manifestadas.

A incerteza resultante da aleatoriedade dos fenômenos hidrológicos e dos processos econômicos, sociais e ambientais constitui outro aspecto de grande influência na análise multiobjetivo quando aplicada aos problemas de recursos hídricos.

2.4.2 - As técnicas de Análise Multiobjetivo

De acordo com Cohon e Marks (1975), as técnicas de análise multiobjetivo, conforme a posição relativa entre analista e decisor, podem ser classificadas nos seguintes grupos:

2.4.2.1 - Técnicas de Geração das Soluções Não-dominadas

São técnicas que não levam em consideração as preferências do decisor, ou seja, o conjunto das *soluções não-dominadas* é estabelecido pelo analista com base, exclusiva, nas restrições físicas do problema e para um máximo de três objetivos. No caso de mais de três objetivos, torna-se duvidoso para o analista o estabelecimento das *relações-de-troca* entre os objetivos.

Segundo Jardim (1999), o uso dessas técnicas fica prejudicado no contexto decisório da gestão das águas onde há a multiplicidade de objetivos, devido à restrição a três objetivos, a não consideração das preferências do decisor e à falta de agilidade dessas técnicas em termos de implementação e operação. Considera ainda, que a dificuldade que o analista encontra para estabelecer as *relações de troca* frente a problemas com mais de três objetivos, traz a diminuição da confiabilidade do resultado, aumentando o nível de incerteza no processo.

Exemplos dessas técnicas são apresentados a seguir:

- Método das Ponderações (Zadeh, 1963);
- Método das Restrições (Zadeh, 1963);
- Método Multiobjetivo Linear (Philip, 1972).

2.4.2.2 - Técnicas com Antecipação de Preferências

Na utilização dessas técnicas, as preferências são estabelecidas *a priori* pelos decisores, pelo analista ou por consenso de ambos. Esse processo ocorre na forma de manifestação antecipada do juízo de valor sobre as possíveis *relações-de-troca* ("trade-offs") entre os objetivos fixados e sobre os pesos relativos de julgamento entre eles.

Esses métodos não apresentam garantia na *não-dominância* das alternativas selecionadas devendo, com isso, ser confirmadas por uma análise de sensibilidade.

As principais técnicas que utilizam a articulação antecipada das preferências são:

- Método da Programação por Metas (Charnes e Cooper, 1961);
- Método Electre (Elimination and (Et) Choice Translating Reality) (Roy, 1971);
- Método do Valor Substituto de Troca (Haimes e Hall, 1974);
- Método da Função Multidimensional (Keeney e Raiffa, 1976);
- Método da Matriz de Prioridades (Saaty, 1977);
- Método da Análise-Q (Hiessl *et al.*, 1985);
- Método Promethee (Preference Ranking Organization METHOD for Enrichmente Evaluations) (Brans e Vincke, 1985).

2.4.2.3 - Técnicas com Articulação Progressiva de Preferências

Nessas técnicas, o analista e o decisor interagem, progressivamente, ao longo do processo decisório.

O decisor se manifesta sobre uma *solução não-dominada* apresentada. Não satisfazendo, refaz-se a análise a partir dos ajustes de julgamento, com base no relaxamento de algumas preferências, até obter-se uma nova solução.

O processo será concluído quando o nível de satisfação do decisor for alcançado, atingindo-se a *solução de melhor compromisso*, ou de forma mais exigente, a *solução mais robusta*. Mesmo quando o nível de satisfação do decisor não for atingido, deverá ser apresentada uma solução. Alguns exemplos dessas técnicas:

- Método dos Passos (Benayoun *et al.*, 1971);
- Método da Programação de Compromisso (Yu, 1973).

2.4.3 – Experiências com o Uso de Métodos de Análise Multicriterial

A seguir são apresentados alguns trabalhos, onde foram utilizados os métodos de análise multicriterial:

O trabalho de Roy (1971), trata da aplicação do método Electre para escolher entre sete carros (alternativas), baseado nos seguintes critérios de decisão: i) preço, com cinco níveis de valores; ii) conforto, medido em três níveis (alto, médio e baixo); iii) velocidade, com dois níveis (rápido e lento) e iv) beleza, com dois níveis (belo e aceitável). A solução do problema forneceu uma classificação parcial da preferência de compra do automóvel.

O método de Programação de Compromisso, utilizado por Duckstein e Opricovic (1980), para auxiliar a implementação de quatro possíveis sistemas (alternativas) de recursos hídricos, na Bacia Hidrográfica do Rio Tisza (Hungria). Os critérios de avaliação são apresentados a seguir: i) custo total, ii) probabilidade de escassez da água, iii) qualidade da água, iv) fator de reuso de energia e v) proteção de cheias.

Brans e Vincke (1985), fazem uma aplicação do método PROMETHEE e do plano GAIA para decidir onde deverá ser construída uma nova usina de energia elétrica na Europa, dentre seis países (alternativas) distintos: Itália, Bélgica, Alemanha, Grã Bretanha, Portugal e França. Foram considerados os seguintes critérios de avaliação: i) minimizar mão-de-obra na operação, ii) maximizar energia produzida, iii) minimizar custo de manutenção, iv) minimizar número de povoado evacuado e v) maximizar o nível de segurança. O método PROMETHEE fornece uma informação parcial e total das

alternativas respectivamente, ou seja, uma classificação de preferências para o decisor. A visualização gráfica, das alternativas e critérios, é obtida usando o método do plano GAIA, que auxilia ao decisor a escolha das melhores alternativas sobre determinados critérios. Os autores fazem uma análise de sensibilidade através de uma pequena variação no vetor dos pesos dos critérios e observa o estímulo à resposta. Por fim, aplicam outra variação do método PROMETHEE, com o uso de um problema de programação inteira do tipo (0-1), associado ao problema criando algumas restrições que são “as limitações” do problema real representado matematicamente.

Em seu trabalho, Braga (1987) avalia através da análise multicriterial, a alteração da política operacional do sistema de reservatórios da CESP (Companhia Energética de São Paulo), cujo objetivo é incorporar à geração de energia hidroelétrica, outros objetivos como o controle de cheias e risco de déficit energético.

A operação do Sistema de Reservatórios do Baixo Tietê com objetivos múltiplos foi analisada através dos critérios de: i) maximização da geração de energia, ii) minimização do risco de falha no atendimento à demanda de energia e iii) maximização do grau de controle de cheias. Estes objetivos foram subdivididos em 3 atributos: i) retorno econômico (MWh), ii) probabilidade de não atingir o estado cheio ao final do período de operação (%) e iii) período de retorno da cheia evitada (anos). O resultado obtido mostrou que à medida que se aumenta o período de retorno da cheia, a ser controlada a jusante do reservatório, o benefício energético esperado do sistema é reduzido. Logo, a resolução do conflito entre objetivos está ligada a seleção apropriada de um período de retorno da cheia a ser evitada a jusante do reservatório.

No estudo sobre otimização de operação de reservatórios, Longanathan e Bhattacharya (1990), avaliam variações de Técnicas de Programação por Metas: PGP (Preemptive Goal Programming), WGP (Weighted Goal Programming), FGP (Fuzzy Goal Programming) e IGP (Interval Goal Programming). O objeto de estudo foi a Bacia do Rio Green, localizada na região oeste central de Kentucky. Compõem o sistema: i) quatro reservatórios (Green, Nolin, Barren e Rough), ii) quatro tributários (Gresham, alvaton, Glen Dean e Horse Branch) e iii) nove estações de controle próximas (Greensburg, Munfordville, Brownsville, Bowling Green, Woodbury, Paradise, Falls of Rough, Dundee e Calhoun). Os valores de influxos, fluxos de tributários e precipitação eram conhecidos ou estimados. Para obter uma melhor comparação dos métodos, foram utilizados os mesmos

dados em todas as técnicas. Várias soluções foram obtidas, onde a solução final depende das preferências, da pressão das soluções dos limites físicos.

O trabalho de Teixeira e Barbosa (1995), trata da Avaliação Multicriterial de Alternativas de Projeto da Barragem do Castanhão, no Rio Jaguaribe, Região Nordeste brasileira. Dentre os múltiplos usos a que se destina o reservatório destacam-se: o abastecimento de água da região metropolitana de Fortaleza, o controle de enchentes do baixo Jaguaribe, a irrigação de cerca de 43.000 ha, a geração de energia elétrica e o desenvolvimento da pesca e do turismo. A partir da análise dos relatórios oficiais e da polêmica gerada sobre o empreendimento, foram adotados dois objetivos fundamentais: i) eficiência econômica ou aumento da reserva nacional líquida e ii) qualidade ambiental. Associados a estes objetivos, foram adotados os critérios de: maximização dos benefícios líquidos e minimização da capacidade da barragem. O resultado obtido revelou uma adequação da metodologia, na qual as técnicas de modelagem distintas foram usadas de maneira integrada em diferentes etapas do processo decisório.

Gonçalves (2001), atendendo solicitação da Secretaria de Educação da Prefeitura Municipal de Ponta Grossa - PR, utilizou o método de programação multiobjetivo, PROMETHEE, para escolha de locais para construção de escolas ou ampliação de unidades já existentes. Foram selecionados três locais (alternativas) para construção de novas escolas e seis locais (alternativas) para ampliação, onde para os locais a construir foram propostas mais de uma possibilidade, totalizando um número de dezoito alternativas. Para resolução do problema foram considerados alguns fatores, também chamados critérios, que auxiliaram na decisão entre as alternativas, ou seja, para tomada de decisão considerou os seguintes critérios: i) custo total de construção, ii) número de alunos a serem atendidos, iii) número de salas de aula já existentes no local, iv) distância da escola até o ponto de ônibus, v) distância da escola até o posto de saúde, vi) segurança do local e vii) custo de aquisição do terreno. Cada critério foi considerado em função dos dados existentes.

Zuffo *et al.*(2002), avaliaram os resultados dos métodos ELECTRE II, PROMETHEE, Programação por Compromisso (CP), Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT) e o método Analítico Hierárquico (AHP), utilizados no planejamento para reabilitação, expansão e conservação do sistema produtor de água potável da Bacia do Baixo Cotia, localizada na Região Metropolitana de São Paulo. Na aplicação dos métodos multicriteriais incorporou características ambientais, sociais, econômicas e técnicas. Foram

adotados vinte critérios e nove diferentes alternativas para o estudo do problema. Os métodos PROMETHEE, CP, CGT e AHP apresentaram resultados satisfatórios. Entretanto, devido à insensibilidade do método ELECTRE, a qualquer mudança de cenários de pesos, seus resultados não foram satisfatórios.

Diante da vasta aplicação de métodos multicriteriais em uma grande área do conhecimento humano, sendo alguns trabalhos aqui descritos e outros conhecidos, porém não citados, é que ocorreu a motivação para utilização do método de apoio à decisão (PROMETHEE) em presença de múltiplos objetivos, neste estudo.

2.5 – O Método PROMETHEE

Objetivando a incorporação de vários critérios na escolha de alternativas para implantação de obras de infra-estrutura hídrica em bacia hidrográfica é que foi usada, neste estudo, a ferramenta da análise multiobjetivo através do método PROMETHEE. Este método apresenta as seguintes vantagens:

- facilidade de utilização e implementação;
- permite associar as incertezas do sistema ao método;
- possibilita a consideração da subjetividade através da inclusão de aspectos qualitativos no processo decisório.

2.5.1 – Introdução

O Método PROMETHEE é baseado na relação hierárquica que consiste em melhorar a ordem de dominância, através de comparações par-a-par. Este processo segue quatro etapas distintas:

1. Estruturação hierárquica;
2. Estabelecimento das funções de preferência;
3. Formação da matriz de avaliação e fluxos de importância;
4. Classificação das alternativas.

Este método pode ser aplicado a problemas multicritérios formado por um número finito de alternativas e por vários critérios de decisão, que devem ser maximizados ou minimizados de acordo com a necessidade.

Para um problema multicritério, com um número finito de alternativas, o ideal seria escolher dentre as alternativas a que fosse melhor em todos os critérios, o que resultaria numa resposta direta. Porém, isso raramente ocorre. Diante disso, na análise multiobjetivo busca-se uma alternativa que, comparada com outras alternativas, seja uma boa opção de escolha.

O PROMETHEE é bastante utilizado em problemas envolvendo recursos hídricos e/ou problemas que envolvem o meio ambiente. As informações adicionais para aplicação do método, segundo Zuffo *et al.*(2002), são:

1. Informações entre critérios: pode ser representada por uma estrutura de pesos (α_i) de importância relativa entre os critérios. Os pesos são assumidos positivos e o maior peso (de um critério particular) indica a maior importância deste critério sobre os demais. O somatório dos pesos α_i deve ser igual a 1.
2. Informações internamente aos critérios (comparações par-a-par das alternativas): são observados desvios ou diferenças entre os valores do mesmo critério para as diferentes alternativas. Por menor que sejam esses desvios, o decisor alocará uma pequena preferência para a melhor alternativa. Quanto maior o desvio maior a preferência. Não há objeções quanto às preferências assumirem números reais variando entre 0 e 1. Isto significa que, para cada critério $f_i(x)$, o decisor tem a seguinte função:

$$P_i(a, b) = P_i[d_i(a, b)]$$

$a, b, \in X$, em que:

$$d_i(a, b) = f_i(a) - f_i(b)$$

e para o qual:

$$0 \leq P_i(a, b) \leq 1$$

Onde:

i é o critério,

$f_i(x)$ é o valor atribuído a alternativa x , segundo o critério i ,

$P_i(a,b)$ é a função de preferência para cada critério $i = 1, 2, \dots, n$;

No caso do critério ser maximizado, dado a preferência de “ a ” sobre “ b ”, observa-se a diferença entre “ a ” e “ b ”, $f_i(a) - f_i(b)$, segundo o critério i . Desta forma, a diferença pode ser expressa por uma função de preferência. Para o caso do critério ser minimizado, a diferença observada entre “ a ” e “ b ” pode ser representada pela função de preferência dada pela seguinte expressão (Zuffo *et al.*, 2002):

$$P_j(a, b) = P_j[-d_j(a, b)]$$

O par $\{f_j(\cdot), P_j(\cdot, \cdot)\}$ é chamado critério generalizado associado ao critério $f_j(\cdot)$.

O método PROMETHEE utiliza diferentes tipos de critérios generalizados representados pelos diferentes tipos de funções, onde cada tipo de função é selecionado segundo o nível de preferência adotado.

2.5.2 – A Matriz de Avaliação

A análise multiobjetivo apresenta uma melhor compreensão quando estruturada na forma de matriz, que é denominada de matriz de avaliação ou de impacto, conforme mostrada a seguir:

Tabela 2.1 - Matriz de avaliação

		Alternativas				
		x_1	x_2	x_3	.....	x_n
Critérios	1	$f_1(x_1)$	$f_1(x_2)$	$f_1(x_3)$	.....	$f_1(x_n)$
	2	$f_2(x_1)$	$f_2(x_2)$	$f_2(x_3)$	.....	$f_2(x_n)$
	3	$f_3(x_1)$	$f_3(x_2)$	$f_3(x_3)$	.....	$f_3(x_n)$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	p	$f_p(x_1)$	$f_p(x_2)$	$f_p(x_3)$	.....	$f_p(x_n)$

Em síntese, cada uma das n alternativas de solução é avaliada de acordo com os p critérios estabelecidos no processo decisório.

Os critérios de avaliação das alternativas representam a especificação dos objetivos em características e qualidades, em medidas adequadas de desempenho das soluções de planejamento. Na análise, há uma comparação de cada alternativa com todas as demais, com estabelecimento de uma hierarquia que aponta o conjunto das soluções de maior atratividade (*não-dominadas*) e a escolha da *solução de melhor compromisso* e, ainda melhor, *a solução mais adequada*, em termos de melhor atendimento do conjunto dos objetivos e sob os critérios fixados para a análise (Braga, 2001).

2.5.3 – Função de Preferência

As relações de preferência podem ser expressas em termos de uma função de preferência $P_j(d_i(a,b))$ para cada critério “i” e tipo $j = I, II, III, IV, V$ e VI. Esta função cujo valor está compreendido entre 0 e 1, indica a intensidade da preferência de uma alternativa “a” sobre uma alternativa “b” com relação aos desvios de valores:

$$d_i(a,b) = (-1)^k [f_i(a) - f_i(b)]$$

Onde: $k = 0$, se deseja maximizar; e

$k = 1$, se deseja minimizar o valor do critério i .

O valor 1 indica a preferência absoluta de uma alternativa sobre a outra com relação a um dado critério. As funções de preferência, ilustradas na Figura 2.1, são normalmente definidas para o método PROMETHEE. Para cada uma delas são fixados, no máximo, dois parâmetros que representam, para cada tipo de função o seguinte (Braga e Gobetti, 1997):

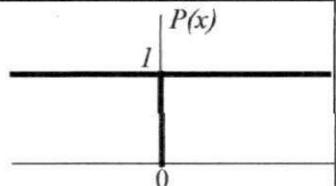
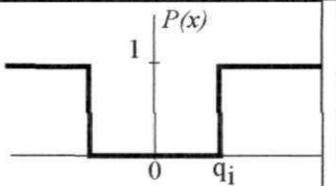
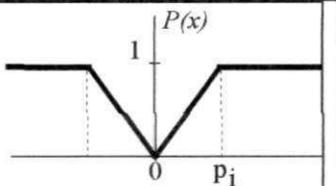
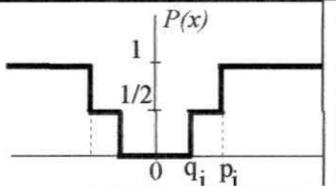
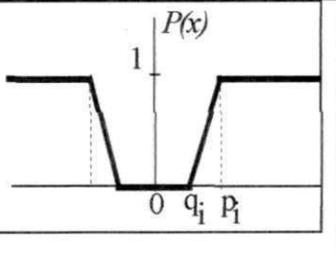
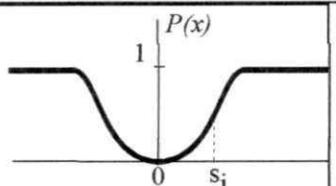
Função para o critério i	Gráfico $bP_i a$ $aP_i b$	Parâmetros necessários
Tipo I $P_I(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } x_i = 0 \\ 1 & \text{se } x_i > 0 \end{cases}$		-
Tipo II $P_{II}(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } |x_i| \leq q_i \\ 1 & \text{se } |x_i| > q_i \end{cases}$		q_i
Tipo III $P_{III}(x_i) = \begin{cases} |x_i| / p_i & \text{se } |x_i| \leq p_i \\ 1 & \text{se } |x_i| > p_i \end{cases}$		p_i
Tipo IV $P_{IV}(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } |x_i| \leq q_i \\ 1/2 & q_i < |x_i| \leq p_i \\ 1 & |x_i| > p_i \end{cases}$		q_i, p_i
Tipo V $P_V(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } |x_i| \leq q_i \\ \frac{|x_i| - q_i}{p_i - q_i} & q_i < |x_i| \leq p_i \\ 1 & \text{se } |x_i| > p_i \end{cases}$		q_i, p_i
Tipo VI $P_{VI}(x_i) = 1 - e^{-x_i^2 / 2s_i^2}$		s_i

Figura 2.1 – Funções de preferência

TIPO I (Usual): Quando o desvio $d(a, b)$ entre as alternativas "a" e "b" for maior que zero, isto é, para a alternativa "a" o critério "i" assumir maior valor, a função de preferência assume valor um, neste caso a alternativa "a" é preferível a "b". Caso contrário, a função de preferência é zero e não existe preferência absoluta da alternativa "a" sobre a alternativa "b".

Simbolicamente: Se $d(a, b) > 0$, então $P(a, b) = 1$, caso contrário $P(a, b) = 0$.

TIPO II (U-shape): O intervalo delimitado por $x_i \leq q_i$, caracteriza uma região de indiferença com relação a preferência da alternativa "a" sobre a alternativa "b", relativo ao critério "i" e a função de preferência assume o valor "0". Para desvios maiores que q_i a função de preferência é igual a "1" e a alternativa "a" tem preferência absoluta sobre a alternativa "b".

Simbolicamente: Se $d(a, b) > q_i$, então $P(a, b) = 1$, caso contrário $P(a, b) = 0$.

TIPO III (V-shape): No intervalo compreendido entre $x_i \leq p_i$, é estabelecido um aumento linear da intensidade da preferência da alternativa "a" sobre a alternativa "b", proporcional ao desvio de valores do critério i. A partir deste valor a alternativa "a" passa a ter preferência absoluta sobre a alternativa "b".

Usando símbolos: Se $d(a, b) > p_i$, então $P(a, b) = 1$, caso contrário $P(a, b) = (1/p_i) * d(a, b)$.

TIPO IV (Nível): A função 'tipo escada' assume indiferença quando o desvio $x_i \leq q_i$; no intervalo delimitado por $q_i < x_i \leq p_i$, a alternativa "a" tem a mesma preferência que a alternativa "b" e, a partir de p_i , a alternativa "a" tem preferência absoluta sobre a alternativa "b".

Usando símbolos: Se $d(a, b) > p_i$, então $P(a, b) = 1$,

Se $d(a, b) \leq q_i$, então $P(a, b) = 0$,

Se $q_i < d(a, b) \leq p_i$, então $P(a, b) = 0,5$.

TIPO V (Linear): Quando o desvio $d(a, b)$ entre as alternativas "a" e "b" assumir valor maior que o parâmetro p_i , a função de preferência assume o valor 1, isto é, a alternativa "a" é preferível à alternativa "b"; quando $q_i < d(a, b) \leq p_i$, a intensidade da preferência da alternativa "a" aumenta linearmente sobre a alternativa "b"; e, quando $d(a, b)$ for menor que o parâmetro q_i , a alternativa não é preferível à alternativa "b".

Usando símbolos: Se $d(a, b) > p_i$, então $P(a, b) = 1$,

Se $d(a, b) \leq q_i$, então $P(a, b) = 0$,

Se $q_i < d(a, b) \leq p_i$, então $P(a, b) = (1/(p-q)) * (d(a, b) - q)$.

TIPO VI (Gaussiana): A intensidade da preferência aumenta continuamente, de forma exponencial, de 0 até 1. O parâmetro “s,” indica a distância da origem até o ponto de inflexão da derivada da função.

Neste trabalho foram adotadas para os critérios, as funções de preferência dos tipos II e III. Para a função do tipo II, o parâmetro “q” adotado foi de 10 % e para a função do tipo III foi adotado o parâmetro “p” como sendo igual a 5 %.

O método PROMETHEE é baseado em comparações par-a-par. O primeiro passo para a sua aplicação é a definição dos índices de preferência agregados e fluxos de hierarquização.

Índice de preferência agregado: sejam $a, b \in A$, e:

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b) \alpha_j$$

onde:

α_j são os pesos para cada critério.

$\pi(a, b)$ expressa como e com que grau “a” é preferível a “b” sobre todos os critérios e $\pi(b, a)$ expressa como “b” é preferível a “a”. Usualmente tem-se $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$ positivos, e com as seguintes propriedades:

$$\begin{cases} \pi(a, a) = 0 \\ 0 \leq \pi(a, b) \leq 1 \end{cases} \quad \forall a, b \in A$$

Fluxos de importância: o índice de preferência global possibilita a avaliação de cada alternativa “a”, face a (n-1) alternativas em “A”. Para tanto, define-se dois fluxos de importância, como seguem:

- *Fluxo de importância positivo:*

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x)$$

O fluxo de importância positivo expressa como uma alternativa “a” supera as demais, ou melhor, é o caractere de importância de “a”. O maior valor de $\Phi^+(a)$ corresponde à melhor alternativa.

- *Fluxo de importância negativo:*

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a)$$

Expressa como uma alternativa “a” é superada pelas outras. $\Phi^-(a)$ representa a fraqueza de “a”.

A ordenação das alternativas é feita com base nos valores de $\Phi^+(a)$ e $\Phi^-(a)$. Uma ordenação parcial das alternativas é alcançada em PROMETHEE I e uma ordenação total em PROMETHEE II.

O balanço entre os fluxos de importância positivo e negativo proporciona a escolha baseada no maior fluxo líquido de preferência. O maior valor corresponderá a melhor alternativa:

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$$

A ordenação completa para o método PROMETHEE II é determinada por:

$$\text{“a” é preferido à “b” (a } P^{II} \text{ b)} \quad \text{se} \quad \Phi(a) > \Phi(b)$$

$$\text{“a” é indiferente à “b” (a } I^{II} \text{ b)} \quad \text{se} \quad \Phi(a) = \Phi(b)$$

O método PROMETHEE é de fácil aplicação, envolvendo ao mesmo tempo uma análise mais completa e explícita e apresenta, ainda, a grande vantagem de associar as incertezas inerentes ao sistema com o método.

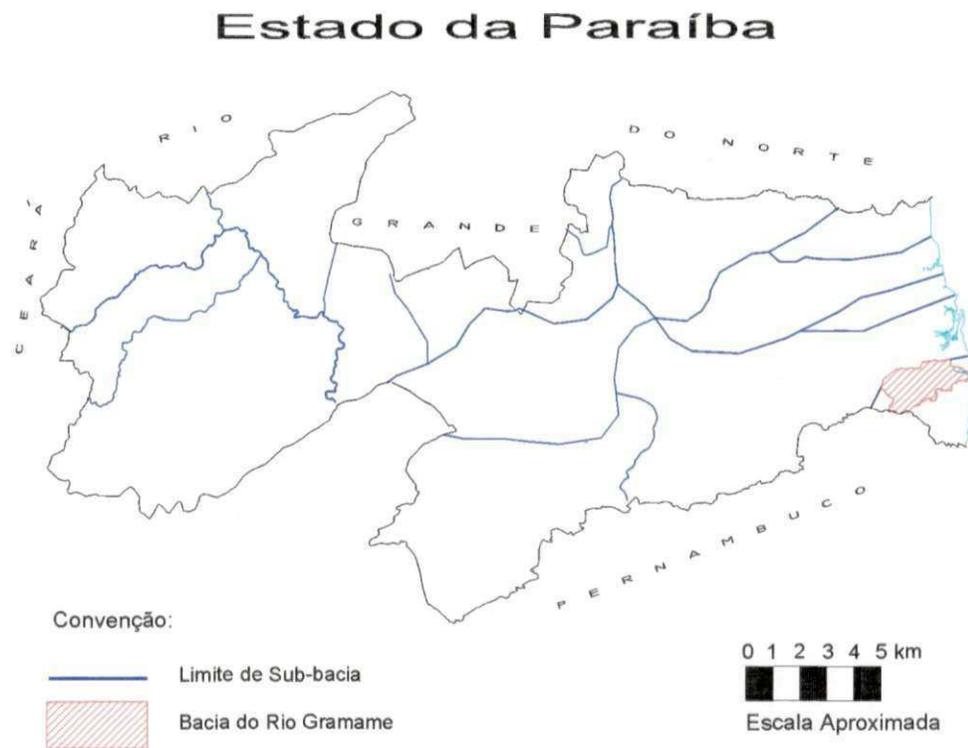
3 – DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A área objeto deste estudo é a bacia hidrográfica do rio Gramame, localizada no litoral Sul do estado da Paraíba (Figuras 3.1 e 3.2), entre os paralelos: 7°11' e 7°23' Sul (latitude) e 34°48' e 35° 10' Oeste (longitude).

3.1 – Características do Sistema

A bacia hidrográfica do rio Gramame drena uma área de aproximadamente 589,1 km², e o comprimento da linha divisor de água que a delimita é de 123,3 km, é formada pelas sub-bacias: Mumbaba, Mamuaba, Água Boa e a sub-bacia do rio Gramame contribuinte do açude Gramame-Mamuaba, principal reservatório da bacia, com capacidade máxima de acumulação de 56,9 milhões de m³, o qual é um dos principais responsáveis pelo abastecimento da Grande João Pessoa. Na Tabela 3.1 são indicadas as respectivas áreas das sub-bacias.

BACIA DO RIO GRAMAME

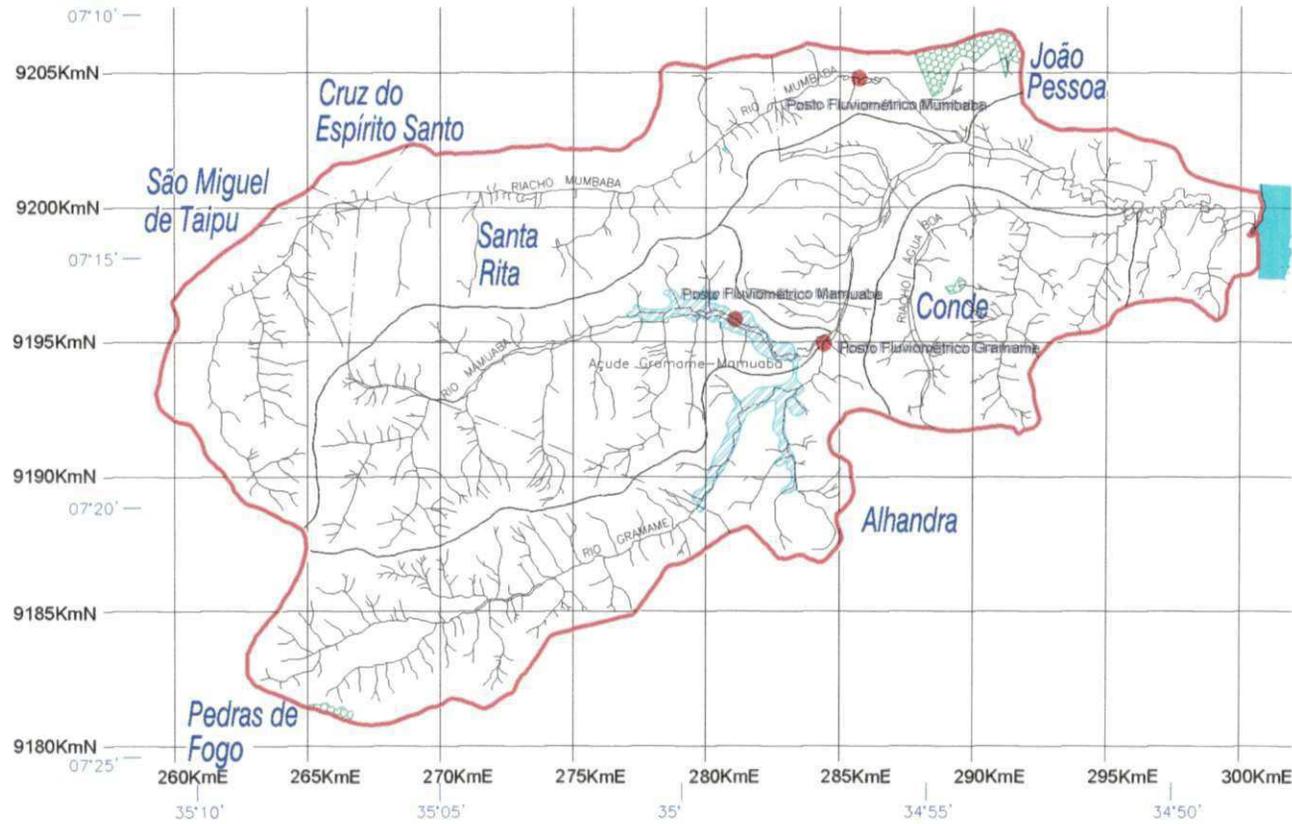


LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DA PARAÍBA



Figura 3.1- Localização da Bacia do Rio Gramame

BACIA DO RIO GRAMAME



Legenda:

-  Limite da Bacia
-  Limite de Município
-  Sede Municipal
-  Contorno de Sub-bacia
-  Curso D'água
-  Açudes
-  Postos Fluviométricos

Escala Gráfica:

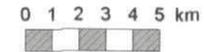


Figura 3.2 - Localização dos Postos Fluviométricos

Tabela 3.1 – Área das sub-bacias do rio Gramame (SEMARH /2000a)

Sub-Bacia	Área (ha)	Percentual
Gramame	21.850	37,1
Mumbaba	17.720	30,1
Água Boa	6.540	11,1
Mamuaba	12.800	21,7
SOMA	58.910	100,0

No ano 2000 era atendida por esta Bacia uma população urbana de 794.887 e na zona rural 21.304 habitantes (SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais/2000a). Nela estão inseridos os municípios de Alhandra, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel de Taipu e Pedras de Fogo. Os percentuais de participação dos municípios na área da bacia (SEMARH/2000a) estão indicados na Tabela 3.2, a seguir:

Tabela 3.2 – Participação em área dos municípios na bacia hidrográfica (SEMARH/2000a)

Município	Área do Município (Km ²)	Área da Bacia (Km ²)	Participação (%)
Alhandra	224,42	99,72	16,93
Conde	164,10	76,47	12,98
Cruz do Espírito Santo	189,32	3,50	0,59
João Pessoa	209,94	59,07	10,03
Santa Rita	762,33	155,59	26,41
São Miguel de Taipu	63,60	2,20	0,37
Pedras de Fogo	348,02	192,56	32,69

A instalação de indústrias, loteamento, atividade agrícola, implantação de açudes e estrutura viária, resultou na devastação da vegetação nativa. O mapa de uso e ocupação do solo da bacia (Figura 3.3) e a Tabela 3.3 mostram que em 1998, o antropismo equivalia a 87,1% da área da bacia hidrográfica restando apenas 12,9% de vegetação nativa.

BACIA DO RIO GRAMAME

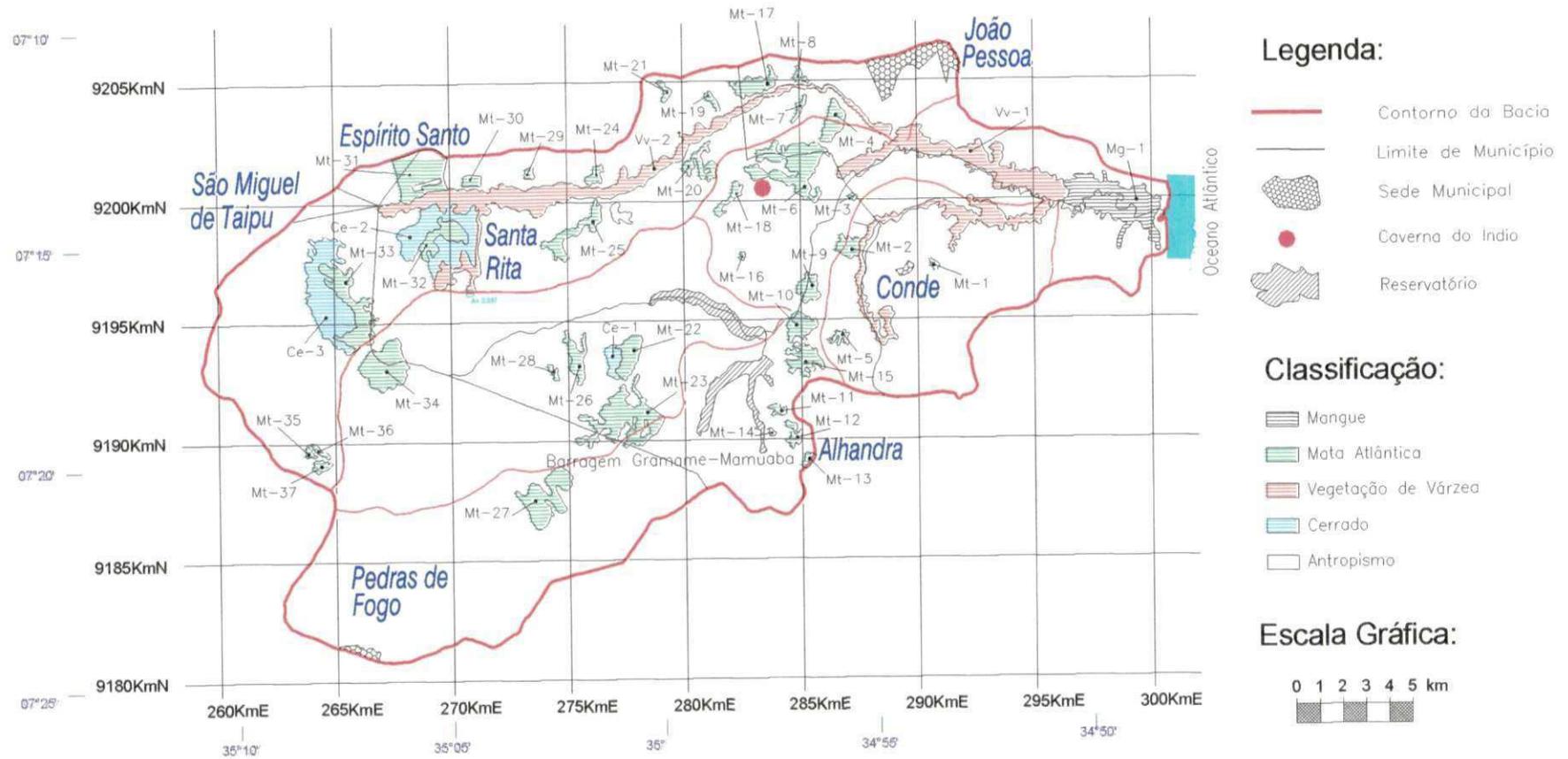


Figura 3.3 - Uso e Ocupação do Solo(1998)

Fonte: Imagem SPOT-1998

Tabela 3.3 – Ocupação e uso do solo em 1998 (SEMARH/2000a)

Tipo de Ocupação	Área (ha)	Percentual
Mata Atlântica	3.820	6,5
Cerrado	1.137	1,9
Vegetação de Várzea	2.074	3,5
Vegetação de Mangue	613	1,0
Antropismo	51.266	87,1
Soma	58.910	100,0

A Bacia em estudo é formada de rios perenes. E sua rede hidrográfica é composta pelo Rio Gramame (rio principal) e seus afluentes (Figura 3.4). Os principais afluentes são:

- Na margem direita: Rio Utinga, Rio Pau Brasil, Riacho Pitanga, Riacho Ibura, Riacho Piabuçu, Rio Água Boa.
- Na margem esquerda: Riacho Santa Cruz, Riacho da Quizada, Riacho do Bezerra, Riacho do Angelim, Riacho Botamonte, Rio Mamuaba, Rio Camaço, Rio Mumbaba. É uma Bacia de rios perenes.

O comprimento do rio principal, o Rio Gramame, é de 54,3 Km; medido desde a sua nascente na região do Oratório, município de Pedras de Fogo até a praia de Barra de Gramame, que é limitada pelos municípios de João Pessoa e Conde. Sendo subdividido em alto, médio e baixo curso, com declividades médias de 11,6m/km, 2,4m/km e 0,9m/km, respectivamente (SEMARH/2000a).

De acordo com a classificação de relevo de Dubreuil (1974) apud Nouvelot e Ferreira (1977), para a Região Nordeste do Brasil, tem-se que a bacia do rio Gramame apresenta relevo predominantemente ondulado, com as sub-bacias variando de suave a ondulado.

Na Tabela 3.4 estão mostrados os principais parâmetros fisiográficos da bacia e de suas sub-bacias.

Tabela 3.4 – Parâmetros fluvio – morfológicos da Bacia do Rio Gramame e suas principais bacias constituintes (SEMARH /2000a)

Sub-Bacia	A	P	Lp	Kc	L	I	F	Dd	Rc	Ri	Ordem	ESM	H(95%)	H(5%)	Ig	Ds
Gramame	589,1	123,3	54,3	1,43	50,30	11,71	0,20	1,23	4,87	2,54	5	0,41	15,0	162,0	3,01	73,05
Mumbaba	177,2	87,2	42,5	1,85	39,49	5,95	0,14	0,93	4,99	3,58	4	0,54	27,4	152,6	3,26	44,66
Mamuaba	128,0	54,7	25,0	1,36	21,52	5,95	0,07	1,43	5,02	3,09	4	0,35	42,5	170,0	75	65,15
Água Boa	65,4	33,5	16,8	1,17	10,89	6,01	0,23	1,28	2,82	4,62	4	0,39	14,5	115,0	9,53	76,92

A = Área da bacia (Km)

P = Perímetro da bacia (Km)

Lp = Comprimento do rio principal (Km)

Kc = Índice de compacidade

L = Lado maior do Retângulo Equivalente (Km)

I = Lado menor do Retângulo Equivalente (Km)

F = Fator de Forma

Dd = Densidade de Drenagem (Km/Km²)

Rc = Coeficiente de Confluência

Ri = Coeficiente de Comprimento

Ordem = Ordem do curso d'água principal

ESM = Extensão Superficial Média (Km)

H (95%) = Cota correspondente a 95% da área

H (5%) = Cota correspondente a 5% da área

Ig = Índice de declividade global

Ds = Desnível específico (m).

3.2 – Características Climáticas e Pluviométricas

Do ponto de vista climático, a região litorânea, na qual a bacia do rio Gramame está inserida, classifica-se como tropical úmida. A região apresenta evaporação média anual de 1300 mm, enquanto a precipitação média anual é de 1740 mm.

A proximidade do Estado à Linha do Equador, com alta radiação solar e alto número de horas de insolação, determina um clima quente com temperatura média anual de 26°C e poucas variações intra-anual. De acordo com a classificação climática de Koeppen (adaptada para a região por Varejão e Silva, 1987) a região litorânea, na qual se encontra a bacia do rio Gramame, está sujeita a dois tipos climáticos, quais sejam:

- Aw'i, que indica um clima tropical chuvoso, com estação seca no outono e variação de temperatura mensal do ar ao longo do ano praticamente desprezível, e;
- BSw'h', indica um clima seco tipo estepe com estação seca no outono e temperatura média mensal superior a 18°C. Pequena parte da área ocidental da bacia encontra-se classificada com esse tipo climático.

3.3 – Inventário Hidrológico Superficial e Subterrâneo

A potencialidade hídrica de uma bacia hidrográfica é definida como a parcela de recursos hídricos que não sofreu interferência humana, ou seja, em seu estado natural. É obtida através da média aritmética da série de vazões naturais no exutório da bacia ou da sub-bacia considerada. A quantidade máxima de água que pode ser disponibilizada para atendimento às demandas corresponde a uma fração de 60% do valor da potencialidade.

A potencialidade hídrica, total, da bacia hidrográfica do rio Gramame foi estimada no Plano Diretor de Recursos Hídricos desta bacia (SEMARH/2000a) em 10,21

m³/s, ou seja, a bacia dispõe de um volume anual de 322,16 milhões de m³, sendo 106,85 milhões de m³ referentes à potencialidade hídrica subterrânea. (Tabela 3.5)

Tabela 3.5 – Potencialidades subterrâneas por sub-bacia (SEMARH /2000a)

Bacia	Potencialidade (10 ⁶ m ³ /ano)
Gramame	39,38
Mamuaba	21,84
Mumbaba	33,31
Água Boa	12,32
Total	106,85

A disponibilidade hídrica constitui a parcela da potencialidade ativada pela ação do homem para o seu aproveitamento. Geralmente, é sensivelmente menor que a potencialidade. Seu conceito envolve localização, tipo de uso e conceito de garantia ou risco no atendimento de uma determinada vazão. Os resultados das disponibilidades subterrâneas por sub-bacia estão mostrados na Tabela 3.6. Contabilizou-se, portanto na bacia do rio Gramame, uma estimativa de disponibilidade subterrânea de 8,3 x 10⁶ m³/ano.

Tabela 3.6 – Disponibilidades subterrâneas por sub-bacia. (SEMARH /2000a)

Sub – bacia	Nº de Poços	Disponibilidade de águas subterrâneas (10 ⁶ m ³ /ano)
Água Boa	11	0,6
Gramame	24	1,3
Mamuaba	3	0,3
Mumbaba	80	6,1
TOTAL	118	8,3

Durante o racionamento ocorrido nos anos de 1997-1999 na Grande João Pessoa, a CAGEPA ativou ou reativou nessa região, 42 poços com capacidade de 900 l/s. Contudo, segundo informações da CAGEPA, esta disponibilidade suplementar deve ser considerada apenas como medida emergencial, em virtude de não existirem estudos e dados confiáveis sobre os aquíferos utilizados.

3.4 – Principais Reservatórios

3.4.1 - A Barragem Gramame-Mamuaba

O complexo Gramame-Mamuaba é constituído de duas barragens de terra, construídas nos rios de mesmos nomes (Figuras 3.5 e 3.6), a cerca de 2 km da confluência destes, para fins de abastecimento urbano da região metropolitana de João Pessoa. As barragens, cujas cotas da soleira são 28,59 m no açude Gramame e 28,61 m no açude Mamuaba, respectivamente; comunicam-se através de um canal de 785 m de comprimento (Figura 3.7), que tem a finalidade de manter o nível da água de Gramame estável através da sangria de Mamuaba para dentro deste.

A área inundada pelo represamento é de 900 ha, correspondendo a um volume armazenado de 56,9 milhões de m³, sendo 26,2 milhões de m³ do açude Mamuaba e 30,7 milhões de m³ do açude Gramame. Neste último, existe um vertedouro cuja soleira encontra-se na cota 35 m. Os dois açudes podem ser operados simultaneamente ou separadamente através de válvulas dispersoras com tomadas de água nas cotas 18,80 m no açude de Gramame e 20,30 m no açude de Mamuaba. Os açudes começaram a acumular água em Agosto de 1988, porém a construção do complexo foi finalizada em 1990.



Figura 3.5 – Barragem Mamuaba

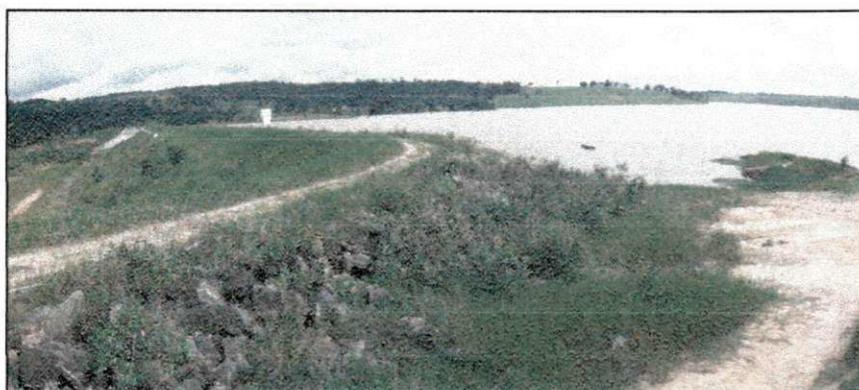


Figura 3.6 – Barragem Gramame

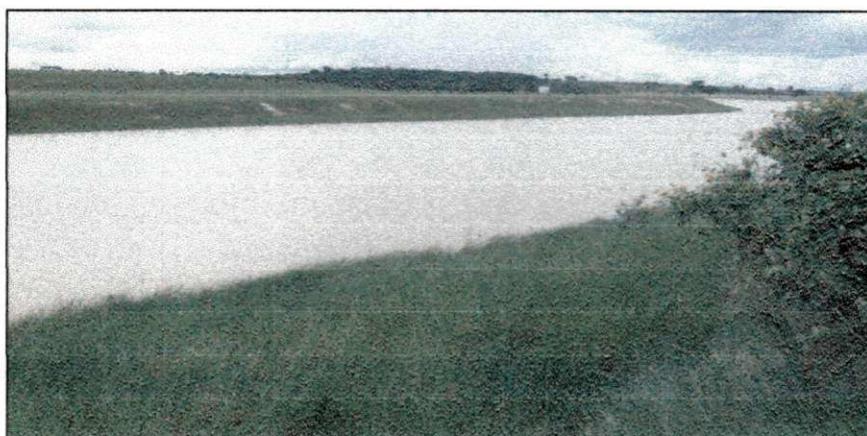


Figura 3.7 – Canal de ligação entre as barragens Gramame e Mamuaba

3.4.2 – Barragens Planejadas

Segundo SEMARH (2000a), durante os anos 1997-1999, a infra-estrutura hídrica atual apresentou falhas no atendimento às demandas do sistema. Contudo, indica ser possível construir uma barragem na bacia do rio Mumbaba logo a montante da barragem de nível atual, com capacidade para armazenar 41,35 milhões de m³ e regularizar uma vazão de 1,6 m³/s. A construção deste reservatório visa reduzir, significativamente as falhas na retirada para a Grande João Pessoa. O mesmo, com nível de alerta em 50% da sua capacidade poderá fornecer para o abastecimento da Grande João Pessoa uma vazão firme de 1 m³/s (SEMARH, 2000a).

Também é recomendada pela SEMARH (2000a), a construção de outro reservatório de regularização da ordem de 8 milhões de m³ no alto curso do rio Gramame, no município de Pedras de Fogo, visando suprir, de modo satisfatório, o abastecimento da cidade de Pedras de Fogo, assim como mitigar possíveis conflitos entre os irrigantes e o abastecimento de água da Grande João Pessoa. A empresa Agroindustrial GIASA será a principal beneficiada por essa construção.

Estudos apontam para um ganho importante com a operação dos reservatórios. Recomenda-se um nível de alerta correspondendo a 50 % da capacidade dos reservatórios. Para o nível acima do nível de alerta, não haverá restrições às demandas. Abaixo deste nível, restrições no suprimento de água para irrigação seriam feitas começando pela irrigação da cana-de-açúcar.

3.5 – Demandas Hídricas do Sistema

3.5.1 – Breve Histórico das Demandas Hídricas do Sistema

Os três principais usos da água produzida na Bacia do rio Gramame são: abastecimento urbano local, irrigação e exportação de água para a cidade de João Pessoa (Figuras 3.8 e 3.9). A maior demanda ocorrida na bacia é para exportação de água para a cidade de João Pessoa, equivalente a quase 60%. Na Figura 3.10 é apresentada a demanda da bacia nos horizontes de projeto, as demandas sofrerão uma evolução de 3,66 m³/s no ano 2000 para 4,84 m³/s em 2020.

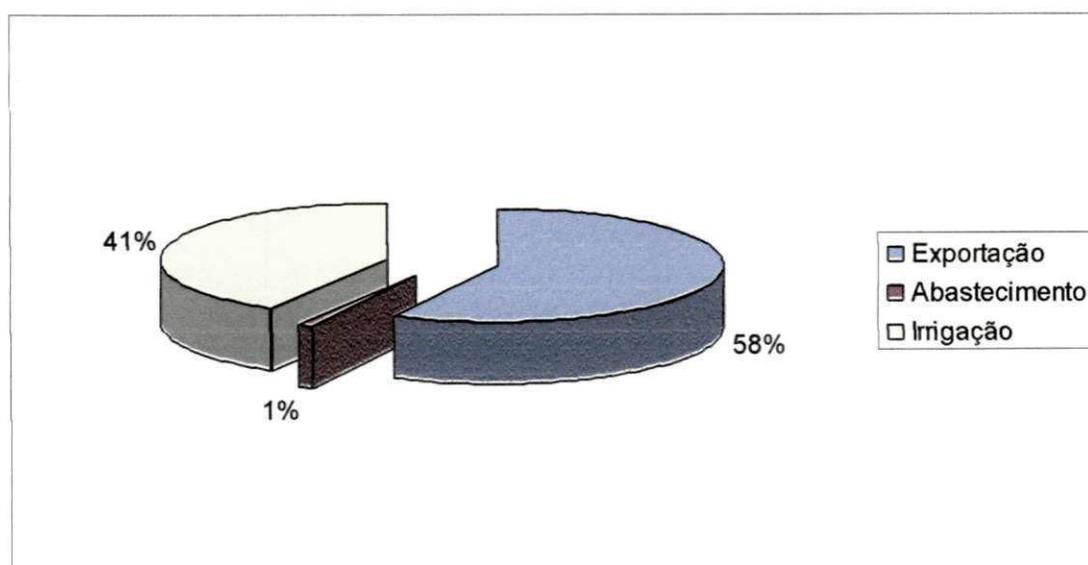


Figura 3.8 – Estrutura da demanda hídrica na Bacia do Gramame (SEMARH/2000a)

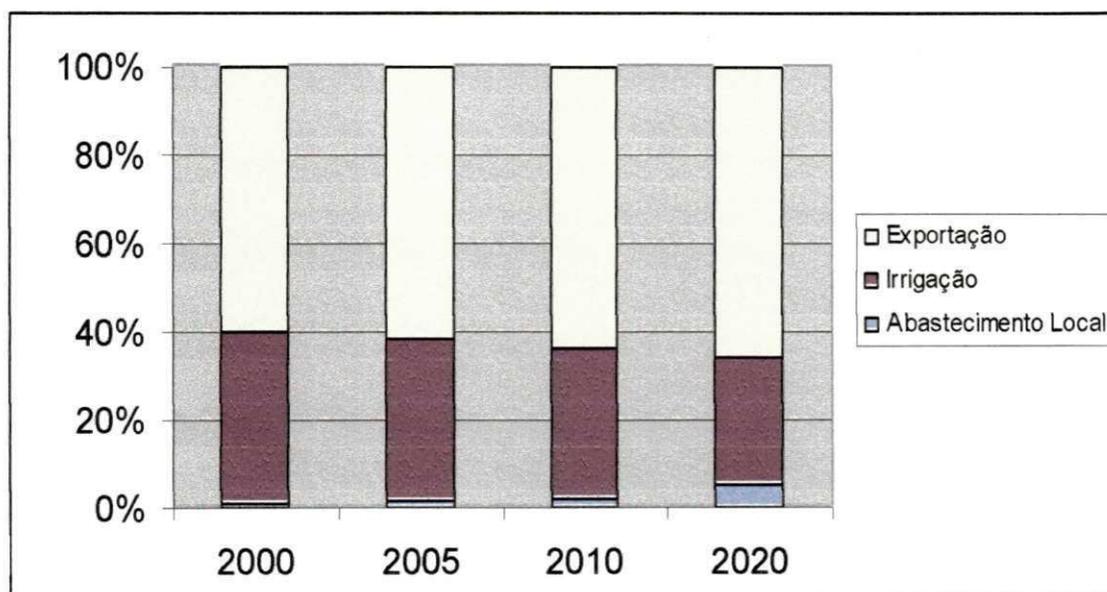


Figura 3.9 – Evolução Prevista da estrutura da demanda (SEMARH/2000a)

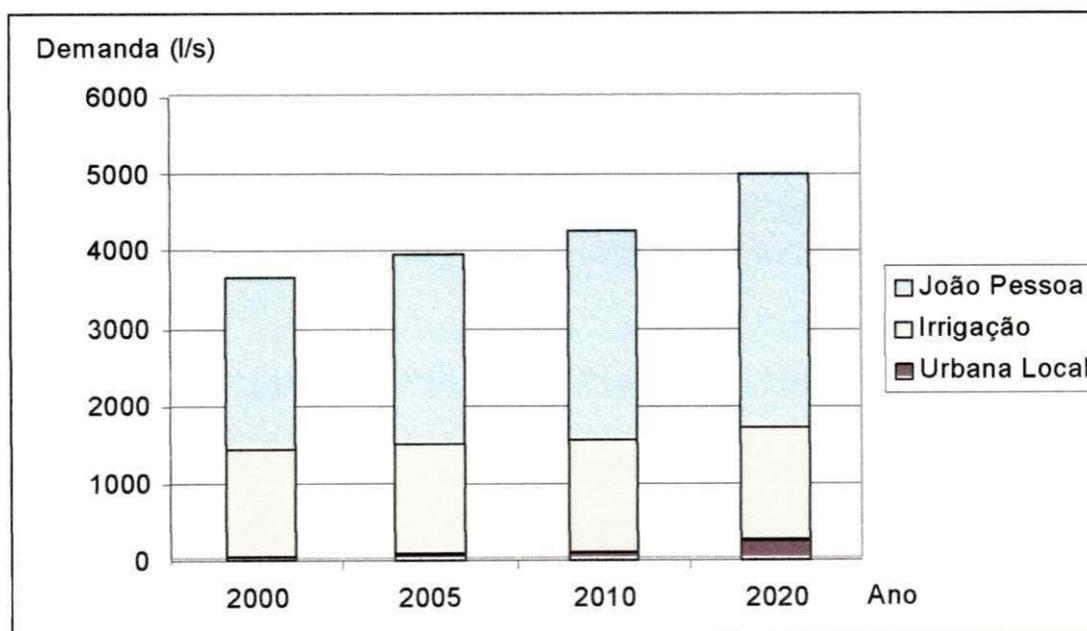


Figura 3.10 – Evolução da demanda na Bacia (SEMARH/2000a)

As diferentes tecnologias aplicadas para obtenção e tratamento de água para consumo humano dos municípios, distritos e localidades inseridas na bacia do rio Gramame são funções do tipo de manancial abastecedor (superficial ou subterrâneo), dos fatores sócio-culturais, do local, do conhecimento técnico e dos condicionantes econômicos.

A bacia do rio Gramame abastece através de sistemas coletivos de abastecimento d'água aproximadamente 70% da população das sedes municipais de Conde, Pedras de Fogo e a Grande João Pessoa (que abrange Bayeux, Cabedelo e parte de Santa Rita), todos os sistemas são operados pela CAGEPA. Contudo, o período entre 1997-1999, de estiagem na bacia, resultou em problemas de escassez hídrica, diminuindo a oferta de água para o consumo humano e pondo em risco de colapso os sistemas de abastecimento de água das sedes citadas.

O sistema Gramame/Mamuaba, principal responsável pelo abastecimento da cidade de João Pessoa, apresentou déficit em 1999, tendo o valor da vazão de captação diminuído de 1850 l/s para 1200 l/s. Como alternativa de complementação da vazão para abastecimento humano, foram perfurados poços profundos na Grande João Pessoa.

As localidades de Mumbaba do Pinincho, Vila da Giasa, Tabatinga, Campo Verde, Gramame, Santa Terezinha, Pousada do Conde, Gramame, Centro Terapêutico do Adolescente, Coqueirinho, Angico, Jangada, Odilândia, Bica, Mamuaba e Cicerolândia, também, estão inseridas na bacia do rio Gramame. Todas as comunidades utilizam poços rasos, tubulares ou cacimbões, com exceção, de Pousada do Conde e Odilândia que se abastecem através de poços profundos. A operação dos poços (rasos ou profundos) ocorre sem nenhum controle sanitário e a água é armazenada em tambores e tanques sem proteção, podendo contribuir para a incidência de doenças como cólera e esquistossomose.

3.5.2 – Projeção das Demandas Hídricas

Os principais usuários dos recursos hídricos da bacia são: abastecimento humano, abastecimento industrial, irrigação e dessedentação de animais.

3.5.2.1 – Abastecimento Humano

As demandas hídricas, estimadas para o abastecimento da população urbana e rural (Tabelas 3.7 e 3.8) nos horizontes de projeto, constantes no Plano Diretor da bacia, foram obtidas com base nas populações previstas neste plano e nos consumos médios per capita de saturação adotados no Estado da Paraíba.

Conforme orientação contida no Plano Diretor da bacia, a região da Grande João Pessoa apresenta incidência de pequenas e médias indústrias que são abastecidas por redes de distribuição da CAGEPA constituindo, assim, o abastecimento urbano e induzindo a uma taxa de 300 l/hab/dia para essa região.

Tabela 3.7 – Demandas hídricas, em l/s, para o abastecimento da população urbana nos horizontes de projeto. (SEMARH /2000a)

Municípios	Demanda em 2000	Demanda em 2005	Demanda em 2010	Demanda em 2020
Bayeux	328,46	360,16	389,00	436,69
Cabedelo	146,23	177,42	212,70	292,16
Conde	13,92	16,77	19,98	27,35
João Pessoa	2.158,42	2.407,69	2.648,93	3.066,95
Pedras de Fogo	23,53	23,30	22,82	21,25
Várzea Nova	52,00	57,94	62,69	69,59
Total	2.722,57	3.043,28	3.356,13	3.914,00

Tabela 3.8 – Demandas hídricas para o abastecimento da população rural nos horizontes de projeto, SEMARH (2000a).

Município	Demanda em l/s (2000)			
	Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	0,28	1,18	0,00	1,01
Conde	1,54	0,70	0,00	0,00
Cruz do Espírito Santo	0,00	0,00	0,10	0,00
João Pessoa	0,00	0,92	0,79	0,00
Pedras de Fogo	0,00	2,29	1,47	1,21
Santa Rita	0,00	0,57	1,78	0,90
São Miguel de Taipu	0,00	0,00	0,05	0,00
TOTAL	1,82	5,66	4,20	3,12

Município	Demanda em l/s (2005)			
	Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	0,32	1,33	0,00	1,14
Conde	1,85	0,84	0,00	0,00
Cruz do Espírito Santo	0,00	0,00	0,11	0,00
João Pessoa	0,00	1,10	0,95	0,00
Pedras de Fogo	0,00	2,27	1,45	1,19
Santa Rita	0,00	0,65	2,01	1,02
São Miguel de Taipu	0,00	0,00	0,05	0,00
TOTAL	2,17	6,19	4,58	3,35

Município	Demanda em l/s (2010)			
	Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	0,36	1,49	0,00	1,27
Conde	2,21	1,00	0,00	0,00
Cruz do Espírito Santo	0,00	0,00	0,11	0,00
João Pessoa	0,00	1,31	1,13	0,00
Pedras de Fogo	0,00	2,22	1,43	1,17
Santa Rita	0,00	0,72	2,24	1,14
São Miguel de Taipu	0,00	0,00	0,05	0,00
TOTAL	2,57	6,75	4,97	3,58

Município	Demanda em l/s (2020)			
	Água Boa	Gramame	Mumbaba	Mamuaba
Alhandra	0,43	1,79	0,00	1,53
Conde	3,02	1,37	0,00	0,00
Cruz do Espírito Santo	0,00	0,00	0,11	0,00
João Pessoa	0,00	1,80	1,55	0,00
Pedras de Fogo	0,00	2,07	1,33	1,09
Santa Rita	0,00	0,87	2,69	1,36
São Miguel de Taipu	0,00	0,00	0,05	0,00
TOTAL	3,45	7,90	5,74	3,98

Segundo SEMARH (2000b), a demanda normal requerida para abastecimento da Grande João Pessoa no ano de 1999, era de 2570 l/s, enquanto os mananciais que abastecem esta região disponibilizavam no mesmo período 1644,1 l/s (Tabela 3.12). Portanto, o sistema que abastece esta região apresentou um déficit no abastecimento no valor de 925,9 l/s em relação à demanda normal.

No primeiro semestre de 2000, conforme consta no relatório de transposição de água da bacia Abiaí-Papocas para a bacia do rio Gramame, a CAGEPA manteve o sistema operando em regime normal através da sobre exploração das reservas do sistema Gramame/Mamuaba, com a retirada de 1550 l/s, que foi possível em virtude da ocorrência de chuvas na região.

3.5.2.2 – Abastecimento Industrial

Em SEMARH (2000a), consta que pequenas e médias indústrias inseridas no perímetro urbano são abastecidas por redes de distribuição da CAGEPA, tendo os seus consumos d'água já incluídos na demanda para abastecimento humano. As demais indústrias não incluídas nesse perímetro são abastecidas por poços. A única exceção refere-se à agroindústria GIASA, que foi considerada como um irrigante.

3.5.2.3 – Irrigação

As demandas hídricas para a irrigação na bacia hidrográfica do rio Gramame (Tabela 3.9), contidas em Paiva (2001), foram obtidas com base no cadastro de irrigantes que foi elaborado com o levantamento de áreas irrigadas na região e na metodologia de Filgueira & Silva Neto (1999), que se baseia nas necessidades hídricas

médias por período de crescimento vegetativo para estabelecer os coeficientes médios mensais de cultivo.

Tabela 3.9 – Demandas hídricas para irrigação na bacia do rio Gramame, Paiva (2001)

Sub-bacia	Demandas (m ³ /ano)
Água Boa	826,25
Gramame	13.540,20
Mamuaba	5.694,95
Mumbaba	9.149,43

A crise que afetou todo o sistema da bacia resultou a partir do mês de janeiro de 1999, segundo Rosa e Silans (2002), na proibição de todas as atividades relacionadas ao uso da água para irrigação, por determinação de uma liminar concedida à SEMARH. Contudo, nesse trabalho, os autores mencionam o seguinte relato de um usuário de água: *“quase que no mesmo período, os irrigantes haviam sido contemplados com financiamento do Banco do Nordeste para adquirir bombas e tubulações”*.

3.5.2.4 – Dessedentação de Animais

Segundo informações contidas no plano diretor da bacia, a demanda hídrica para abastecimento animal é pouco significativa, e o baixo consumo existente é suprido por poços e pequenos barreiros. A justificativa para o baixo consumo, faz-se em virtude de prolongados períodos de estiagem, que resultou em desfalques significativos nos efetivos pecuaristas e, também, em crise financeira no setor que obrigou os pecuaristas a venderem seus rebanhos em larga escala.

3.5.3 – Sistema de Abastecimento d'água da Região Metropolitana de João Pessoa

O sistema de abastecimento de água da região metropolitana de João Pessoa (Figura 3.11) utiliza na sua totalidade mananciais subterrâneos e superficiais. É constituído de duas Estações de Tratamento (ETA), duas Elevatórias de Água Bruta (EEAB), dez Elevatórias de Água Tratada (EEAT), vinte e dois Reservatórios, cerca de 888 Km de rede de distribuição e atende atualmente 152.000 ligações prediais.

Este sistema é abastecido pelos seguintes mananciais superficiais: rio Marés (não inserido na bacia do rio Gramame), rio Mumbaba e os rios Gramame e Mamuaba. Estes rios formam os sistemas Mumbaba/Marés e Gramame/Mamuaba e são interligados através de adutoras de água bruta e tratada no sentido Gramame/Mamuaba para Mumbaba/Marés conforme descrição abaixo (Figura 3.11):

- O rio Marés, com barragem de regularização (Figura 3.12) e captação através de torre de tomada com adução de (101m) de água bruta por gravidade até a ETA/Marés (Figura 3.13) e depois para a Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT) (Figura 3.14);
- O rio Mumbaba, com barragem de elevação de nível e captação em canal de derivação até a Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB) que bombeia a água até a barragem de Marés;
- Os rios Gramame e Mamuaba (afluente do primeiro), com barragens de regularização construídas a cerca de 2 km da confluência destes, e interligadas por um canal de 785 m de comprimento, cuja finalidade é manter estável o nível da água do rio Gramame, através da sangria de Mamuaba para dentro deste. A captação é feita através de barragem de elevação de nível (Figura 3.15), no rio Gramame, a 6 km abaixo das barragens de regularização, com canal de derivação e caixa de areia, seguido de EEAB (Figura 3.16), onde a água é bombeada até a ETA/Gramame (Figura 3.17) situada à 1.200 m da captação. Da EEAB/Gramame parte uma adutora para o sistema Mumbaba/Marés e da ETA/Gramame parte outra adutora (água tratada) até o reservatório de distribuição da ETA/Marés.

A captação de água do rio Mumbaba para o reservatório de Marés não ocorre em regime permanente. A CAGEPA monitora a vazão desta adutora e da adutora de

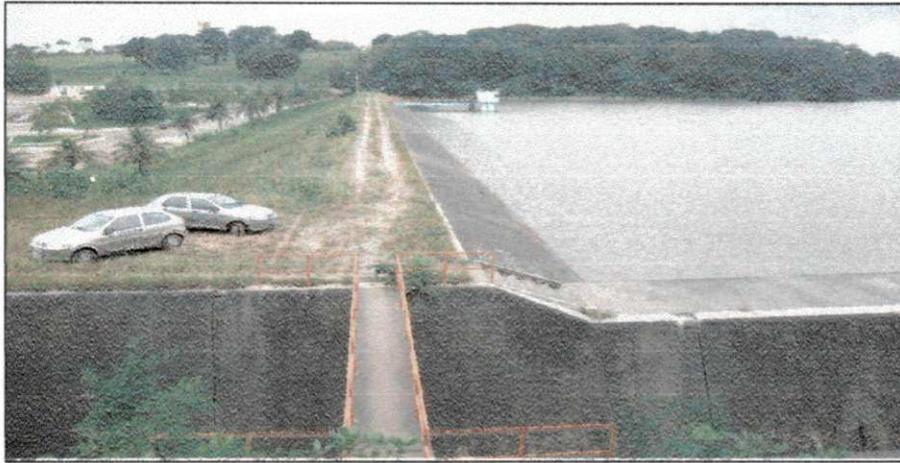


Figura 3.12 – Reservatório Marés



Figura 3.13 – ETA Marés

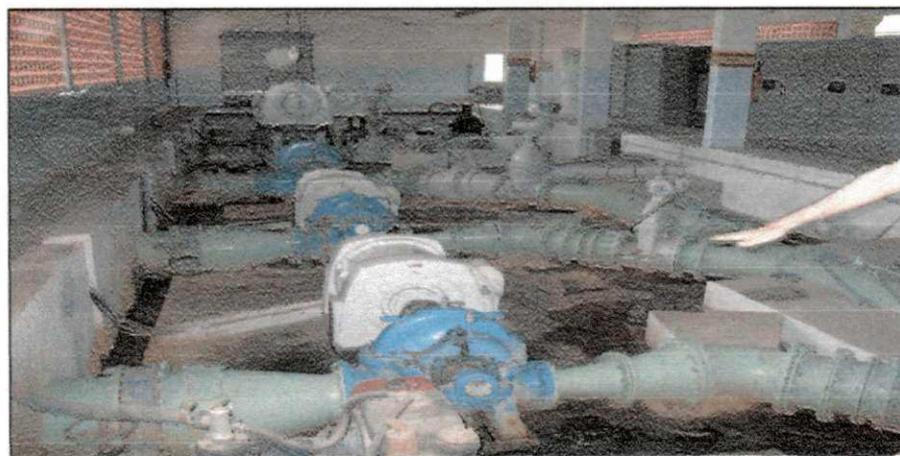


Figura 3.14 – Elevatória de água tratada Marés



Figura 3.15 – Barragem de elevação de nível, no rio Gramame, a 6 km abaixo do reservatório Gramame-Mamuaba



Figura 3.16 – Estação elevatória de água bruta para a ETA Gramame



Figura 3.17 – ETA Gramame

3.5.3.1 – Histórico dos Sistemas de Abastecimento d'água de João Pessoa

Na Tabela 3.10 é apresentado um breve histórico sobre os sistemas de abastecimento de água de João Pessoa.

Tabela 3.10 – Sistemas de abastecimento de João Pessoa (SEMARH /2000b)

Ano	Dados dos sistemas	Q (l/s)
1912	Inaugurado o 1º sistema de abastecimento de água de João Pessoa, constituído de um poço (de quatro inicialmente previstos), na reserva florestal da mata do Buraquinho, pertencente ao aquífero de Beberibe.	22
1923	Ampliação do sistema, objetivando o aumento da produção de água do manancial de Buraquinho.	49
1948	Construção da barragem de terra sobre o rio Marés, situada na bacia hidrográfica de mesmo nome, cujo volume de acumulação é de dois milhões de metros cúbicos.	300
1967	Ampliação da estação de Marés	760
1991	A última ampliação do sistema ocorreu com a construção das barragens geminadas de Gramame e Mamuaba, na bacia do rio Gramame. O sistema é compreendido por: EEAB, ETA, adutoras de água bruta e tratada.	2110

O sistema Gramame/Mamuaba foi inaugurado em março de 1991 e em conjunto com os sistemas Marés e Buraquinho, vem proporcionando o abastecimento da população da Grande João Pessoa (que abrange também as cidades de Cabedelo, Bayeux e Santa Rita).

Na Tabela 3.11 é apresentado um resumo da disponibilidade hídrica dos mananciais que abastecem a região da Grande João Pessoa, quando operados normalmente.

Tabela 3.11 – Disponibilidade hídrica de projeto para a Grande João Pessoa (SEMARH/2000b)

Ordem	Manancial	Vazão Regularizável (l/s)
1	Sistema Buraquinho	116,7
2	Açude Marés	300,0
3	Rio Mumbaba	600,0
4	Sistema Gramame/Mamuaba	2.420,0
5	Poços	847,4
Total		4.284,1

De acordo com medições de vazões nos cursos d'água realizadas pela SCIENTEC/UFPB – JP, de agosto a outubro de 1999, e levantamentos de campo efetuados pelo Setor de Hidrologia da CAGEPA, os mananciais não estavam operando com toda a sua capacidade, conforme mostrado na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Vazões naturais disponíveis nos mananciais da Grande João Pessoa (SEMARH /2000b)

Ordem	Manancial	Vazão Regularizável (l/s)
1	Sistema Buraquinho	116,7
2	Açude Marés	40,6
3	Rio Mumbaba	462,8
4	Rio Gramame	80,3
5	Rio Mamuaba	374,4
6	Poços	569,3
Total		1.644,1

A implantação das fontes alternativas de água para o sistema da Grande João Pessoa (Tabela 3.13), cujos serviços estão todos encaminhados, segundo consta no

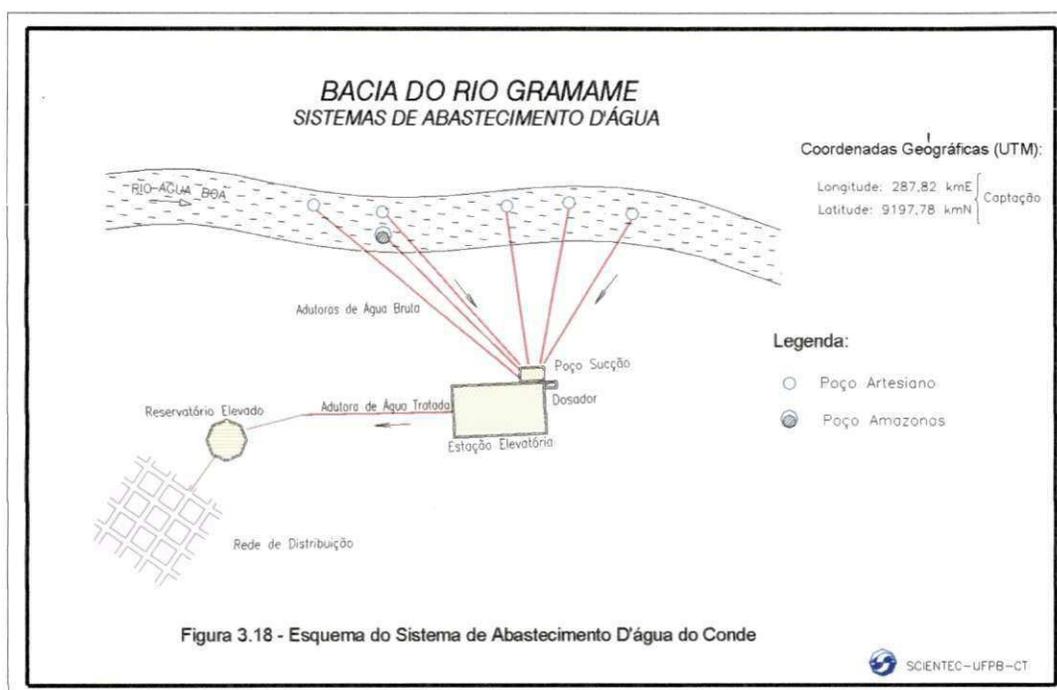
relatório de transposição d'água das bacias Abiaí-Papocas, promoverá um incremento de 298,1 l/s na oferta de água para a Grande João Pessoa.

Tabela 3.13 – Fontes de água adicionais para o sistema da Grande João Pessoa (SEMARH/2000b)

Ordem	Manancial	Disponibilidade (l/s)
1	Riacho Boa Água	70,0
2	Poço Polinor	112,5
3	Poço Marés	55,6
4	Poço Castelo Branco	30,0
5	Poço José Américo	30,0
Total		298,1

3.5.4 – Sistema de Abastecimento d'água do Conde

O sistema de abastecimento d'água do município do Conde (Figura 3.18), é composto de manancial subterrâneo (6 poços, sendo 5 tubulares e 1 tipo Amazonas) que alimenta um poço de reunião. Uma estação elevatória, que faz o recalque da água através de uma adutora de ferro fundido, com diâmetro de 200mm e extensão de 250m até um reservatório elevado de 100m³ de capacidade. Daí, a água é distribuída à população por sistema coletivo (rede de distribuição), constituído de tubos de cimento amianto e PVC com diâmetros variando de 60 a 75mm e extensão de 5.311m, atende a 1700 ligações prediais ativas. O tratamento da água desse sistema é feito através de processo simplificado de desinfecção, com aplicação de cloro gasoso no poço de reunião.

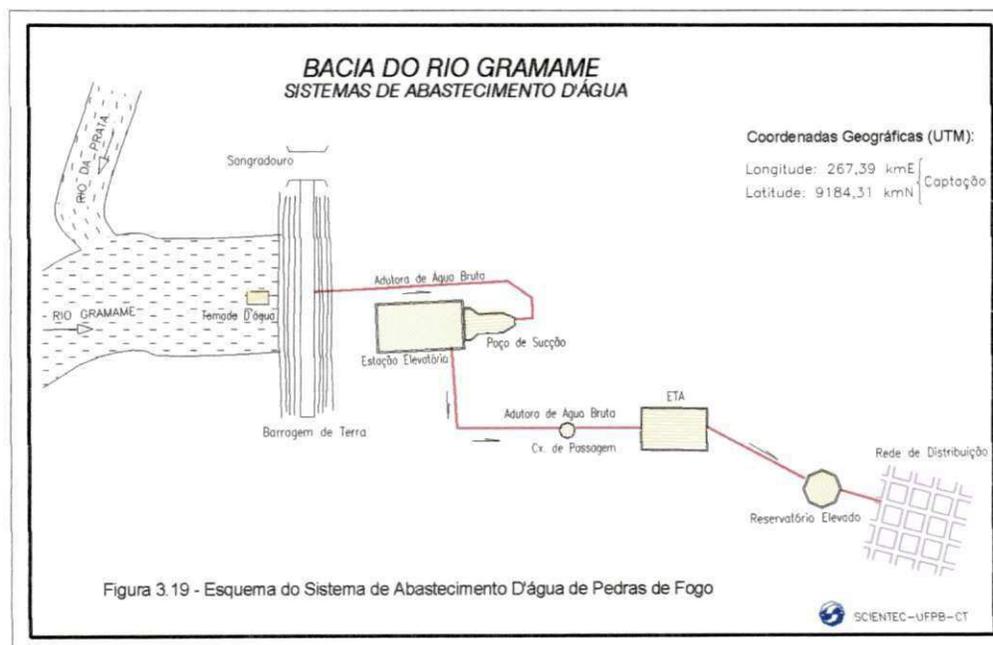


3.5.5 – Sistema de Abastecimento d'água de Pedras de Fogo

O sistema de abastecimento d'água de Pedras de Fogo (Figura 3.19) é alimentado pelo rio Gramame, através de um reservatório formado por uma barragem de terra. A captação ocorre por tomada direta, daí a água é aduzida por uma adutora de 20m de extensão até uma estação elevatória que recalca a vazão de 14,5 l/s através de uma tubulação de ferro fundido com 750m de extensão e 300mm de diâmetro até uma caixa de passagem num ponto de cota elevada. Em seguida a água é aduzida por gravidade através de uma canalização de 300mm de diâmetro até a ETA, percorrendo 1.320m de extensão.

Nesse sistema o tratamento de água é físico-químico através de processo convencional, compreendendo as seguintes unidades: mistura rápida, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Após o tratamento, a água é recalca para um reservatório elevado de distribuição com capacidade de 200m³, situado na zona urbana da cidade. Então, a água é distribuída para a população através de um sistema coletivo (rede

de distribuição), constituído de tubos de cimento amianto e PVC com diâmetros entre 60 e 75mm e extensão de 2.723m de canalizações, atende a 2.885 ligações prediais ativas.



3.5.6 – Características dos Sistemas de Abastecimento e Tratamento de Água da Bacia

Na Tabela 3.14 são apresentadas as características dos sistemas de abastecimento e tratamento de água das sedes municipais de Conde, Pedras de Fogo e João Pessoa. Para água oriunda de mananciais superficiais é adotado o método convencional de tratamento, enquanto que a água de poços sofre apenas desinfecção simples.

Tabela 3.14 – Características de sistemas de abastecimento d'água na bacia do rio Gramame (SEMARH /2000a)

Município	Manancial Abastecedor	Vazão de Captação (l/s)	Tratamento Atual	Administração
Conde	6 poços	4,17	Cloração	Cagepa
Pedras de Fogo	Riacho da Prata / rio Gramame	14,5	Convencional	Cagepa
João Pessoa	Gramame / Mamuaba	1.200	Convencional	Cagepa
João Pessoa	Mumbaba	423	Convencional	Cagepa

As duas estações de tratamento existentes, Marés e Gramame, são do tipo convencional aplicando sulfato de alumínio, cal e cloro e as suas principais características encontram-se na Tabela 3.15 a seguir:

Tabela 3.15 – Principais características das estações de tratamento ETA (SEMARH/2000a)

ETA	Capacidade (l/s)	Dimensões das Unidades			Reservatório De Contato
		Floculador	Decantador	Filtros	
ETA 1 (MARÉS)	1.200	Mecanizado; volume total de 1.508 m ³	Três unidades; área total de 741m ²	Oito unidades área total de 552 m ²	Volume total de 600 m ³
ETA 2 (Gramame)	Nominal: 1917; Tratado: 1917	Mecanizado; volume total de 3.456 m ³	Quatro /unidades; área total de 1.108 m ²	Oito unidades área total de 553 m ²	Volume total de 40.000 m ³

3.5.7 – Desempenho Atual do Sistema

Em decorrência dos altos índices pluviométricos ocorridos no início deste ano, os mananciais que abastecem a Grande João Pessoa estão operando normalmente e

não está havendo transposição de água do rio Mumbaba para o reservatório de Marés, tendo em vista o aumento da vazão de contribuição deste rio. Segundo informações da CAGEPA, durante o inverno a ETA/Marés é alimentada apenas pelo o rio Marés e o rio Gramame, para não causar uma sobrecarga no sistema. De acordo com informações obtidas em Janeiro deste ano na CAGEPA, os mananciais que abastecem a Grande João Pessoa estão disponibilizando, atualmente, as seguintes vazões:

- Sistema Gramame/Mamuaba: 2200 l/s;
- Rio Marés: 400 l/s;
- Sistema Buraquinho: 116 l/s.

Segundo dados obtidos no mesmo período na CAGEPA, as estações de tratamento de água de Gramame e Marés estão tratando, respectivamente, as seguintes vazões: 1700 l/s e 900 l/s. Na ETA/Gramame é captada, via adutora de água tratada, uma vazão de 300 l/s para o reservatório de distribuição de Marés.

Contudo, este é um caso atípico na região Nordeste. Segundo informações contidas no Plano Diretor da bacia em estudo, a infra-estrutura hídrica do sistema apresentou falhas no atendimento às demandas durante o período de estiagem de 1997/1999, ou seja, a vazão disponível não era suficiente para atender os diversos usos da água, como abastecimento humano urbano e rural, consumo para indústrias e atender as demandas hídricas para irrigação.

A pouca disponibilidade de água do sistema gerou em conflitos entre a demanda requisitada para irrigação e a exportação de água para cidades localizadas além dos limites geográficos da bacia (Bayeux, Cabedelo e a maior parte de João Pessoa). Segundo Paiva e Ribeiro (2000), os conflitos ocorreram tanto a montante quanto à jusante do sistema Gramame/Mamuaba. A montante, os usuários queriam maiores quantidades de água para viabilizar projetos de irrigação e, a jusante, precisava compatibilizar a preservação dos ecossistemas com as descargas dos efluentes industriais.

4 – METODOLOGIA

Objetivando uma análise multicriterial mais realista, este estudo fundamenta-se na análise de 03 (três) critérios: econômicos, sociais e ambientais; cuja escolha foi baseada em levantamentos bibliográficos e foram adotados em função da disponibilidade de dados e dos principais problemas existentes na área de estudo.

Neste capítulo, procura-se identificar os critérios e seus atributos, quantificá-los quantitativa ou qualitativamente, com sua apropriada definição de escala, estabelecer se serão maximizados ou minimizados e, em seguida, hierarquicamente vinculá-los ao seu correspondente critério.

4.1 – Planos de Ação Propostos para a Bacia

O planejamento das ações de intervenções na infra-estrutura hidráulica e de importações de água de outras bacias hidrográficas vizinhas foi baseado na adversidade apresentada pelo sistema após prolongados períodos de estiagem, a exemplo do período compreendido entre 1997-1999.

A avaliação de alguns cenários constantes no Plano Diretor da bacia indicou que a infra-estrutura hídrica atual não garante um abastecimento do sistema para uma

exploração socialmente e economicamente sustentável da bacia e que é necessário, para este fim, a construção de nova infra-estrutura hídrica.

4.1.1 – Reservatório no Alto Gramame

Segundo recomendações contidas no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame, deve ser estudada a construção de um reservatório de regularização com capacidade de acumulação da ordem de 8 milhões de metros cúbicos no alto curso do rio Gramame, próximo ao município de Pedras de Fogo (Figura 4.1). Conforme análise feita no plano, a construção desse reservatório permitirá mitigar os conflitos entre os irrigantes e a exportação de água para a região da Grande João Pessoa, bem como suprir de modo satisfatório o abastecimento de água da cidade de Pedras de Fogo; sendo a Empresa Agroindustrial GIASA o principal beneficiado por essa ação. De acordo com o índice de Ativação da Potencialidade (razão entre a disponibilidade e potencialidade) da sub-bacia hidrográfica do açude Gramame-Mamuaba, não é recomendável, nesse local, a construção de açude com maior capacidade de armazenamento (SEMARH/2000a).

4.1.2 – Reservatório no Rio Mumbaba

A captação de água do rio Mumbaba para o abastecimento da Grande João Pessoa, através do sistema de Marés, não ocorre em regime permanente. Com o aumento das vazões nos rios em decorrência de altos índices pluviométricos em períodos de chuva, a retirada de água através do rio Mumbaba é suspensa para não sobrecarregar o sistema de Marés. Assim, uma parcela de água do rio Mumbaba não é utilizada e tem como destino

final o exutório da bacia. Todavia, durante o período de estiagem, a suspensão da recarga dos mananciais e os altos índices de evaporação favorecem uma substancial redução nas vazões dos cursos d'água.

Desde 1994 está prevista pela Cagepa a construção de um reservatório de regularização, com capacidade de acumulação no valor de 41 milhões de metros cúbicos, que permitirá regularizar uma vazão de $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ no rio Mumbaba (Figura 4.1), logo a montante da barragem de nível atual. A construção desse reservatório, além de evitar o desperdício da água não utilizada durante o inverno, irá suprir a carência no verão, ou seja, haverá uma compensação entre excesso de água dos rios em períodos chuvosos e a redução durante a estiagem. Contudo, a principal finalidade da construção do reservatório no rio Mumbaba é servir de reforço para o sistema Gramame-Mamuaba no atendimento às demandas requeridas para abastecimento de água da Região Metropolitana de João Pessoa e contribuir para o suprimento de água para irrigação.

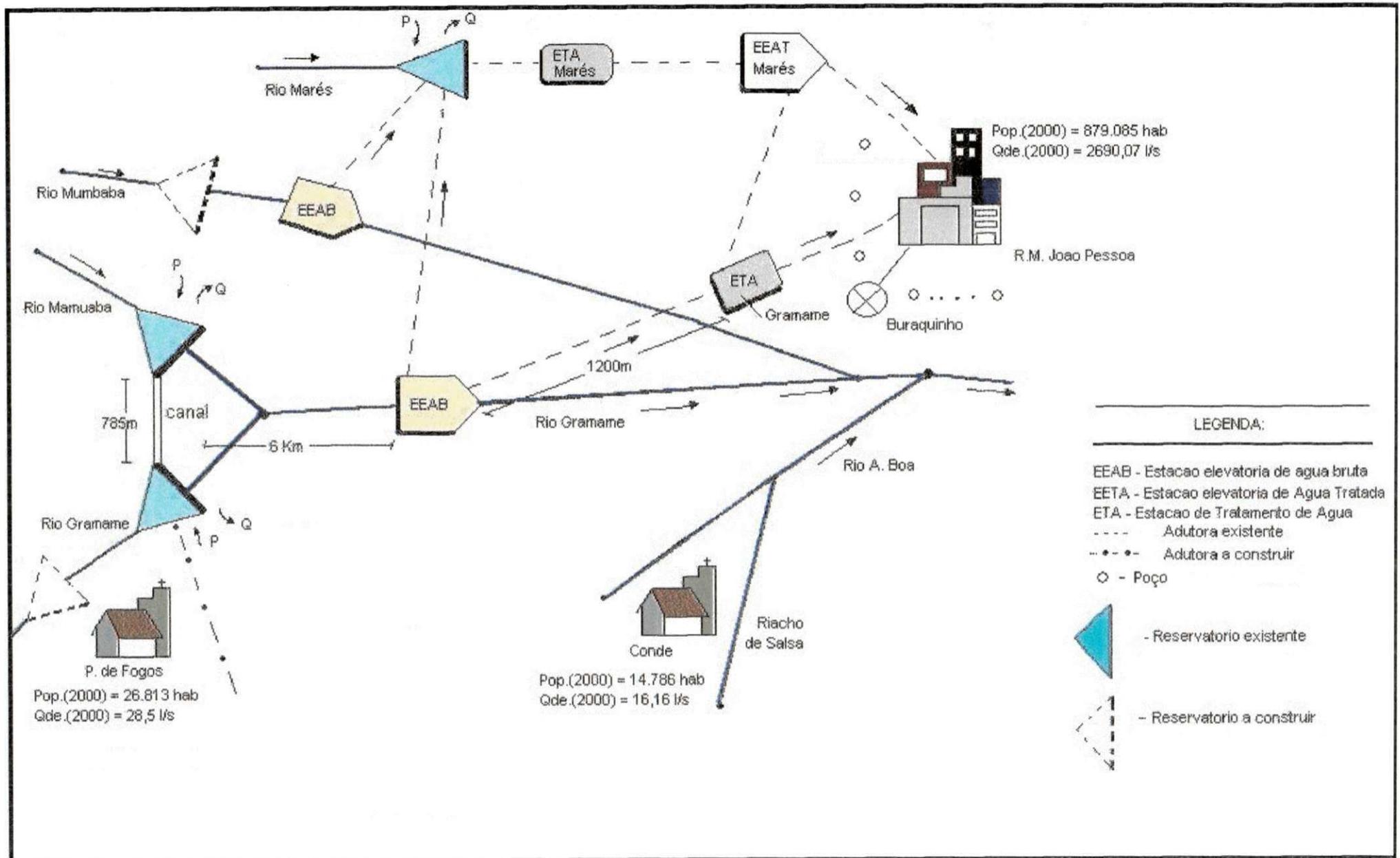


Figura 4.1 – Layout do Sistema

4.1.3 – Importação de Água da Bacia Abiaí-Papocas

No estudo realizado por Silva *et al.* (2002), foi considerado cenários (Tabela 4.1) com a importação de água para a bacia do açude Gramame-Mamuaba, tendo em vista mitigar o impacto à exportação de água para João Pessoa. Tem-se que a importação realizar-se-ia a partir da bacia conjugada dos rios Abiaí-Papocas, vizinha da bacia em estudo. O valor estimado para esta importação é de 1 m³/s (32 hm³/ano). A importação de água, segundo os autores, reduz significativamente as falhas na região a montante do reservatório Gramame-Mamuaba e introduz níveis de garantia superiores a 95 % em todas as demandas a jusante do reservatório, além de garantir o abastecimento de João Pessoa, integralmente, durante toda a série simulada (2000, 2005, 2010 e 2020).

4.1.4 – Composição das Alternativas

As alternativas avaliadas neste trabalho foram estabelecidas a partir da composição dos cenários para o estudo de planejamento dos recursos hídricos na bacia do rio Gramame realizado por Silva *et al.*(2002). No referido estudo, os autores construíram os cenários para diagnosticar a situação dos recursos hídricos na bacia e propor ações estruturais e não-estruturais de melhoria do sistema conforme descrito na Tabela 4.1 a seguir:

Tabela 4.1 – Identificação dos cenários de infra-estrutura (Silva *et al.*, 2002)

Cenário	Horizonte	Identificação dos cenários
1	2000	Infra-estrutura hídrica atual
2	2005	<i>sem volume meta no açude Gramame-Mamuaba e sem prioridades</i>
3	2010	
4	2020	
5 (A e B)	2000		Infra-estrutura hídrica atual
6 (A e B)	2005	<i>com volume meta no açude Gramame-Mamuaba e prioridades</i>
7 (A e B)	2010	
8 (A e B)	2020	
9 (A e B)	2005		Infra-estrutura hídrica atual + açude Mumbaba
10 (A e B)	2010	<i>com volume meta no açude Gramame-Mamuaba e prioridades</i>
11 (A e B)	2020	
12 (A)	2020	
14	2020		Infra-estrutura hídrica atual + açude Mumbaba + açude Gramame
		<i>com volume meta no açude Gramame-Mamuaba e prioridades</i>
15	2020	Infra-estrutura hídrica atual + açude Mumbaba + importação da bacia Abiaí-Papocas
		<i>com volume meta no açude Gramame-Mamuaba e prioridades</i>
16	2020	Infra-estrutura hídrica atual + açude Mumbaba + açude Gramame + importação da bacia Abiaí-Papocas
		<i>com volume meta no açude Gramame-Mamuaba e prioridades</i>

Com exceção dos quatro primeiros cenários, foram consideradas regras de operação do sistema com níveis de alerta no açude Gramame-Mamuaba correspondendo a 50 % (Caso A) e 25 % (Caso B) do volume acumulado e, também, as regras de prioridades descritas a seguir:

- Abastecimento humano – prioridade igual a 1;
- Armazenamento do volume meta – prioridade igual a 2;

- Irrigação prioritária – prioridade igual a 3;
- Irrigação não prioritária – prioridade igual a 4.

Na Tabela 4.2 estão mostrados os valores das demandas médias anuais e das falhas percentuais para os diversos cenários descritos na Tabela 4.1. A partir desses dados foram calculadas as falhas percentuais totais para cada cenário (Tabela 4.3) e, destes, foram selecionados cinco para a composição das alternativas avaliadas neste estudo.

Os cenários apresentados na Tabela 4.1 referem-se aos horizontes de 2000, 2005, 2010 e 2020 e a diferentes medidas estruturais e não-estruturais. Contudo, os cinco cenários selecionados para composição das alternativas avaliadas, neste estudo, são referentes ao horizonte de 2020 e admitem o mesmo nível de alerta (50 %) no açude Gramame-Mamuaba e, também, regras de prioridades; para que seja avaliada a implantação ou não de obras de infra-estrutura hídrica.

Neste contexto, foram selecionados os seguintes cenários: 8A (Alternativa 01), 12A (Alternativa 02), 14 (Alternativa 03), 15 (Alternativa 04) e 16 (Alternativa 05), isto é, para a composição da “*alternativa 01*” foi selecionado o cenário 8A, referente à infra-estrutura hídrica atual. Os cenários 11A, 11B e 12A contemplam a construção do reservatório no rio Mumbaba para o horizonte de 2020, porém neles são adotadas medidas não-estruturais diferenciadas e diferentes vazões de demanda nos pontos 43 e 132, mostrados no mapa de identificação de pontos de cálculo na Figura 4.2. Contudo, o cenário 12A apresentou a menor falha percentual total para o abastecimento humano, por esta razão ele foi adotado como “*alternativa 02*” deste estudo. Os cenários 14, 15 e 16 adotados como alternativas 3, 4 e 5, respectivamente, referem-se ao horizonte de 2020, com nível de alerta de 50 % no açude Gramame-Mamuaba e com regras de prioridades. A integração das obras de infra-estrutura, nestes cenários, ocorre de forma diferenciada, permitindo a implantação de mais de uma alternativa de avaliação, isto é, a “*alternativa 03*” contempla a construção dos reservatórios nos rios Mumbaba e Gramame, enquanto a “*alternativa 04*” é composta pelo reservatório no rio Mumbaba e a transposição de água da bacia Abiaí-Papocas. Já na “*alternativa 05*” é recomendada a construção dos dois reservatórios (Mumbaba e Gramame) mais a importação de água da bacia Abiaí-Papocas.

As alternativas avaliadas neste estudo estão descritas a seguir:

- Alternativa 01 – corresponde a infra-estrutura hídrica atual;

- Alternativa 02 – contempla a construção do reservatório de 41 milhões de m³ no rio Mumbaba que servirá de reforço para o sistema Gramame-Mamuaba no atendimento às demandas da Grande João Pessoa e contribuirá para o suprimento de água para irrigação;
- Alternativa 03 – nesta alternativa propõe-se a construção de um reservatório no rio Mumbaba citado na alternativa anterior e outro no rio Gramame com capacidade de acumulação de 8 milhões de m³, segundo estudos, este reservatório garantirá o abastecimento de água de Pedras de Fogo, servirá de reforço para o abastecimento de João Pessoa e beneficiará, principalmente, a empresa Agroindustrial GIASA.
- Alternativa 04 – nesta alternativa é recomendada a construção do reservatório no rio Mumbaba e a transposição de água da bacia Abiaí-Papocas para a bacia do rio Gramame, via adutora. O valor estimado para importação é de 1 m³/s e, segundo os autores, esta medida reduzirá significativamente as falhas à montante do reservatório Gramame-Mamuaba e garantirá níveis superiores a 95 % em todas as demandas à jusante do reservatório e irá assegurar o abastecimento de João Pessoa integralmente durante todas as séries simuladas (até o ano de 2020).
- Alternativa 05 – sugere a construção dos reservatórios nos rios Mumbaba e Gramame, e a transposição de água da bacia Abiaí-Papocas para a bacia do rio Gramame.

Tabela 4.2 – Cálculo de falhas dos critérios (Paiva, 2001)

		Irrigação																Abastecimento				
		Montante Gramame						Jus.Gra-Mamuaba			Montante Mumbaba				A. Boa							
		346a	346b	302a	265	219	185a	185b	302b	132a	132b	158	68	79	42a	42b	133	136	347	132	43	194
Cenário 1	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	1,74	0,6	0,02
	Falha Percentual (%)	16,33	27,58	37,92	47,08	4,08	5	26,33	1,33	1,33	1,33	25,75	5,42	1,92	35,67	36,83	6,67	13,33	17,17	1,42	30,33	5
Cenário 2	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,05	0,6	0,02
	Falha Percentual (%)	16,33	27,58	37,92	47,08	4,08	5	26,33	1,33	1,33	1,33	25,75	5,42	1,92	35,67	36,83	6,67	13,33	17,17	1,5	30,33	5
Cenário 3	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,36	0,6	0,02
	Falha Percentual (%)	16,33	27,58	37,92	47,08	4,08	5	26,33	1,33	1,33	1,33	25,75	5,42	1,92	35,67	36,83	6,67	13,33	17,17	1,92	30,33	5
Cenário 4	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,91	0,6	0,03
	Falha Percentual (%)	16,33	27,58	37,92	47,08	4,08	5	26,33	3,08	3,08	3,08	25,75	5,42	1,92	35,67	36,83	7,92	14,42	16,58	4,25	30,33	6,92
Cenário 5A	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	1,74	0,6	0,02
	Falha Percentual (%)	20,92	38,75	38,25	47,17	7,5	9,58	29	7,25	5,42	7,58	27	16,92	26,25	35,67	36,83	6,67	13,33	15,33	0	28,17	5
Cenário 5B	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	1,74	0,6	0,02
	Falha Percentual (%)	20	38,08	37,92	47,17	5,33	6,17	26,75	1,42	1,33	1,42	27	16,92	26,25	35,67	36,83	6,67	13,33	15,33	0,17	28,17	5
Cenário 6A	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,05	0,6	0,02
	Falha Percentual (%)	23,25	39,17	38,75	47,17	10,92	12,58	30,5	11,58	8,42	12,08	27	16,92	26,25	35,67	36,83	6,67	13,33	15,33	0	28,17	5
Cenário 6B	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,05	0,6	0,02
	Falha Percentual (%)	20,25	38,25	38,08	47,17	5,67	6,67	27,17	2,5	1,92	2,5	27	16,92	26,25	35,67	36,83	6,67	13,33	15,33	0,17	28,17	5
Cenário 7A	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,36	0,6	0,02
	Falha Percentual (%)	25,42	40,08	39,67	47,25	14,33	16,67	32,75	16,42	13,5	16,75	27	16,92	26,25	35,67	36,83	6,67	13,33	15,33	0	28,17	5
Cenário 7B	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,36	0,6	0,02
	Falha Percentual (%)	20,83	38,42	38,25	47,25	6,75	7,83	27,58	3,58	3,08	3,75	27	16,92	26,25	35,67	36,83	6,67	13,33	15,33	0,42	28,17	5
Cenário 8A	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,91	0,6	0,03
	Falha Percentual (%)	29	41,33	41,17	47,67	21,17	22,67	35,58	22,92	20,17	23,25	27	16,92	26,25	35,67	36,83	7,92	14,42	8,83	0,58	28,17	6,92
Cenário 8B	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,91	0,6	0,03
	Falha Percentual (%)	21,08	39,08	38,92	47,25	10,17	11,92	30,08	9,67	7,83	9,92	27	16,92	26,25	35,67	36,83	7,92	14,42	8,83	1,67	28,17	6,92

Continuação da Tabela 4.2

		Irrigação																Abastecimento				
		Montante Gramame						Jus.Gra-Mamuaba			Montante Mumbaba				A. Boa							
		346a	346b	302a	265	219	185a	185b	302b	132a	132b	158	68	79	42a	42b	133	136	347	132	43	194
Cenário 9A	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	1,05	1,59	0,02
	Falha Percentual (%)	19,83	38,08	37,92	47,08	5,25	6,33	26,75	1,67	1,5	1,67	30,25	15	26,42	27,42	27,58	6,67	13,33	15,33	0	7,25	5
Cenário 9B	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	1,05	1,59	0,02
	Falha Percentual (%)	19,58	38,08	37,92	47,08	4,92	6	26,75	1,33	1,25	1,33	28,58	11,25	17,5	17	17,25	6,67	13,33	15,33	0	10,17	5
Cenário 10A	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	1,37	1,59	0,02
	Falha Percentual (%)	20,17	38,17	37,92	47,17	5,83	6,92	27,25	2,92	2,17	3,08	30,25	15	26,42	27,42	27,58	6,67	13,33	15,33	0	7,25	5
Cenário 10B	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	1,37	1,59	0,02
	Falha Percentual (%)	19,83	38,08	37,92	47,17	5,17	6,17	26,75	1,33	1,33	1,33	28,58	11,25	17,5	17	17,25	6,67	13,33	15,33	0	10,17	5
Cenário 11A	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	1,91	1,59	0,03
	Falha Percentual (%)	20,75	39	38,58	47,17	9,92	11,67	29,92	9,42	7,42	9,83	30,33	15,25	26,75	27,83	27,92	7,92	14,42	8,83	0	7,33	6,92
Cenário 11B	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	1,91	1,59	0,03
	Falha Percentual (%)	18,33	38,08	37,83	47,17	5,42	6,25	26,92	1,75	1,42	1,83	28,67	11,25	17,83	17,33	17,58	7,92	14,42	8,83	0,17	10,33	6,92
Cenário 12A	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,51	1	0,03
	Falha Percentual (%)	25,17	40,67	40,42	47,33	16,5	18,75	33,75	18,67	15,75	18,67	26,33	7,25	7,5	6,83	6,92	7,92	14,42	8,83	0,17	0	6,92
Cenário 14	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,51	1	0,03
	Falha Percentual (%)	26,25	36,17	25,25	47,17	15,67	17,67	33,5	17,67	14,58	17,83	26,17	6,67	6,25	5,33	5,42	7,92	14,42	0	0	0	6,92
Cenário 15	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,51	1	0,03
	Falha Percentual (%)	18,17	38,08	37,75	47,08	5	6,33	27,58	3,75	1,83	4,08	26,17	6,67	6,25	5,33	5,42	7,92	14,42	8,83	0	0	6,92
Cenário 16	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,51	1	0,03
	Falha Percentual (%)	18	36,5	25	47,08	5	6,5	27,58	3,75	1,83	4,08	26,17	6,67	6,25	5,33	5,42	7,92	14,42	0,17	0	0	6,92

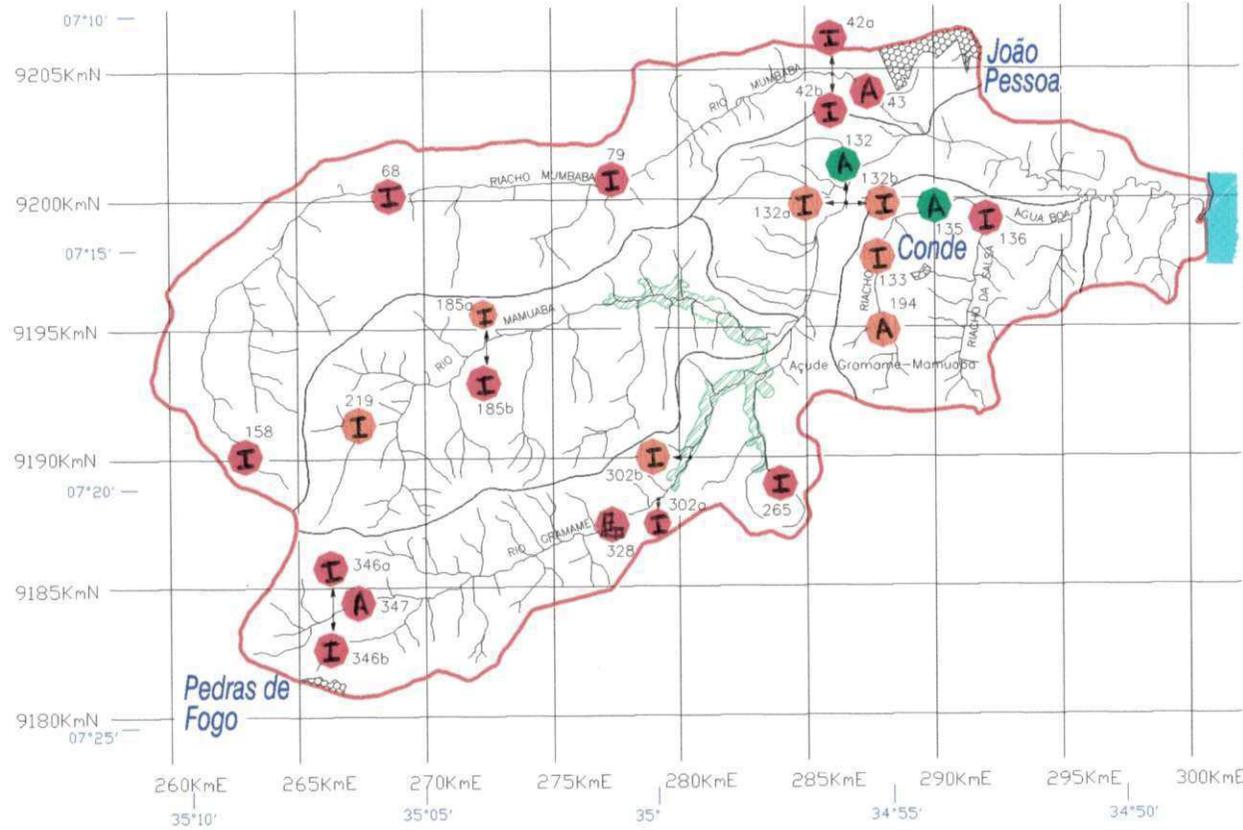
Tabela 4.3 – Falha percentual total

		Falha Percentual Total	
		Irrigação	Abastecimento
Cenários	Cenário 1	21,302	8,871
	Cenário 2	21,302	8,073
	Cenário 3	21,302	7,724
	Cenário 4	21,792	8,737
	Cenário 5A	24,357	7,273
	Cenário 5B	22,044	7,397
	Cenário 6A	26,13	6,434
	Cenário 6B	22,476	6,564
	Cenário 7A	28,395	5,77
	Cenário 7B	22,981	6,1
	Cenário 8A	31,53	5,33
	Cenário 8B	25,56	6,221
	Cenário 9A	20,693	4,453
	Cenário 9B	18,642	6,185
	Cenário 10A	21,172	3,978
	Cenário 10B	18,659	5,526
Cenário 11A	24,03	3,391	
Cenário 11B	18,874	4,826	
Cenário 12A	24,225	0,228	
Cenário 14	20,769	0,058	
Cenário 15	17,231	0,108	
Cenário 16	14,901	0,059	

Tabela 4.4 – Cálculo de falhas, confiabilidade e vazão disponível das alternativas

	Irrigação																	Abastecimento				
	Montante Gramame						Jus. Gra-Mamuaba			Montante Mumbaba					Á. Boa			347	132	43	194	
	346a	346b	302a	265	219	185a	185b	302b	132a	132b	158	68	79	42a	42b	133	136					
Alternativa 01	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,91	0,6	0,03
	Falha Percentual (%)	29	41,33	41,17	47,67	21,17	22,67	35,58	22,92	20,17	23,25	27	16,92	26,25	35,67	36,83	7,92	14,42	8,83	0,58	28,17	6,92
	Falha Percentual Total (%)	31,53																				5,33
	Confiabilidade (%)	68,47																				94,67
	Vazão disponível (m ³ /s)																				3,37	
Alternativa 02	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,51	1	0,03
	Falha Percentual (%)	25,17	40,67	40,42	47,33	16,5	18,75	33,75	18,67	15,75	18,67	26,33	7,25	7,5	6,83	6,92	7,92	14,42	8,83	0,17	0	6,92
	Falha Percentual Total (%)	24,225																				0,228
	Confiabilidade (%)	75,775																				99,77
	Vazão disponível (m ³ /s)																				3,552	
Alternativa 03	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,51	1	0,03
	Falha Percentual (%)	26,25	36,17	25,25	47,17	15,67	17,67	33,5	17,67	14,58	17,83	26,17	6,67	6,25	5,33	5,42	7,92	14,42	0	0	0	6,92
	Falha Percentual Total (%)	20,769																				0,058
	Confiabilidade (%)	79,231																				99,94
	Vazão disponível (m ³ /s)																				3,558	
Alternativa 04	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,51	1	0,03
	Falha Percentual (%)	18,17	38,08	37,75	47,08	5	6,33	27,58	3,75	1,83	4,08	26,17	6,67	6,25	5,33	5,42	7,92	14,42	8,83	0	0	6,92
	Falha Percentual Total (%)	17,231																				0,108
	Confiabilidade (%)	82,769																				99,89
	Vazão disponível (m ³ /s)																				3,556	
Alternativa 05	Demanda Média Anual (m ³ /s)	0,012	0,008	0,226	0,008	0,008	0,072	0,301	0,226	0,04	0,057	0,009	0,004	0,02	0,168	0,043	0,013	0,023	0,02	2,51	1	0,03
	Falha Percentual (%)	18	36,5	25	47,08	5	6,5	27,58	3,75	1,83	4,08	26,17	6,67	6,25	5,33	5,42	7,92	14,42	0,17	0	0	6,92
	Falha Percentual Total (%)	14,901																				0,059
	Confiabilidade (%)	85,099																				99,94
	Vazão disponível (m ³ /s)																				3,558	

BACIA DO RIO GRAMAME



Legenda:

- Limite da Bacia
- Limite de Sub-bacia
- Sede Municipal
- Curso D'água
- Pequeno Açude
- Grande Açude
- Abastecimento Humano
- Irrigação Difusa
- Indústria

Escala Gráfica:

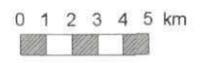


Figura 4.2 - Mapa de Identificação de Pontos de Cálculo

4.2 – Implementação do Método PROMETHEE

Na Figura 4.3 é apresentado o organograma do método PROMETHEE, que foi desenvolvido em ambiente Matlab.

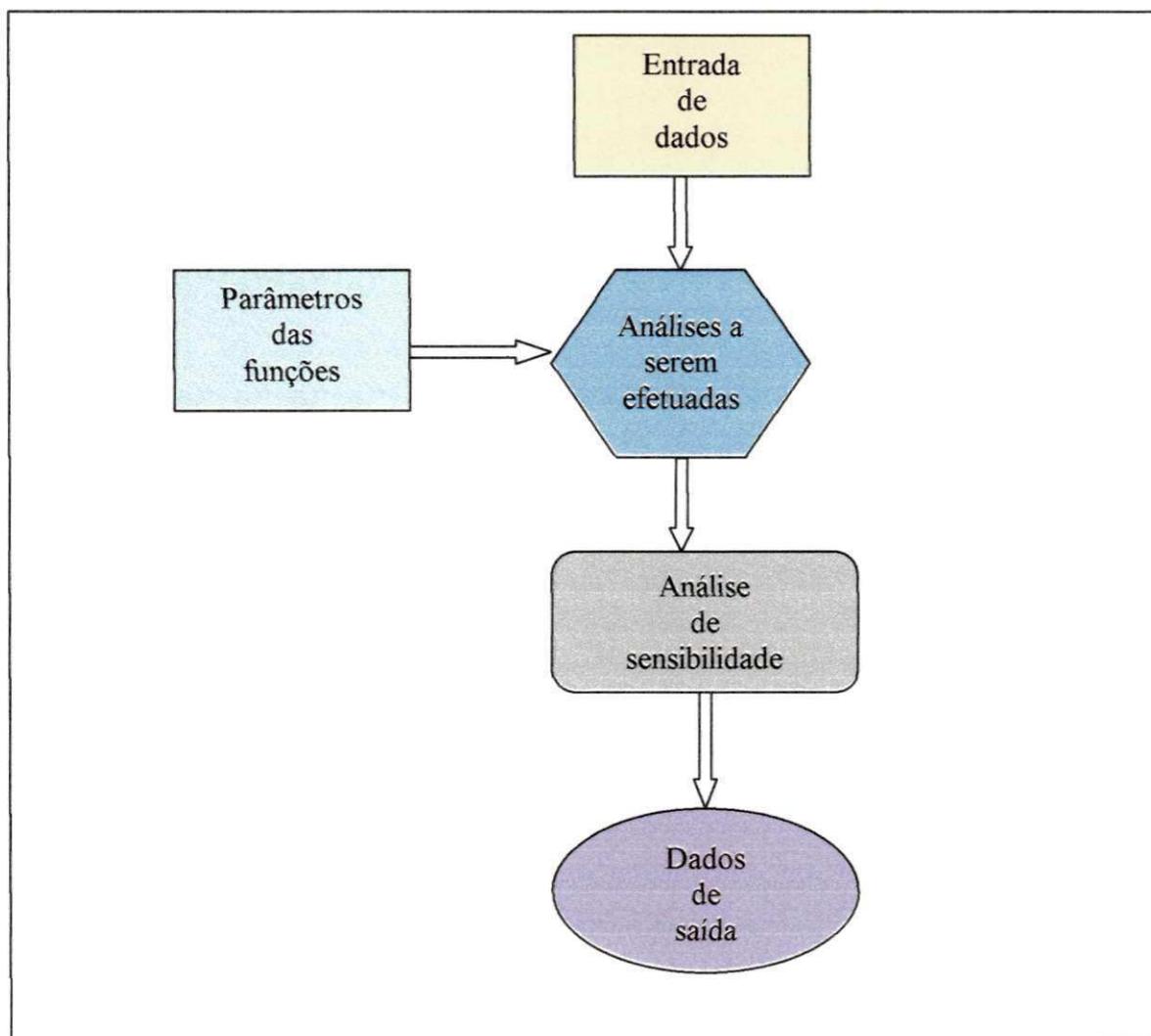


Figura 4.3 – Organograma do funcionamento do método PROMETHEE

Entrada de dados – Inicialmente deve ser fornecido ao método o valor do critério (i) para a ação (j), onde os dados são introduzidos em forma de matriz (matriz de impacto ou desempenho);

Parâmetros da função – Nesta etapa deve-se informar ao método: se o problema é de maximização (0) ou minimização (1) do critério i, o tipo de função aplicada ao critério i, os

valores dos parâmetros q (limite de indiferença) e p (limite de preferência forte) da função relativa ao critério i , e atribuir o peso (valor subjetivo para avaliação) do critério i ;

Análises a serem efetuadas – Nesta etapa a matriz dos fluxos de hierarquização (importância) é calculada pelo método;

Análise de sensibilidade – Deve ser redefinida uma matriz de pesos totais para os atributos dada variações nos pesos parciais atribuídos a cada critério;

Dados de saída – Nesta etapa o método fornece um arquivo com os dados de saída.

4.3 – Definição dos Critérios

Segundo Porto *et al.* (1997) a tomada de decisões em sistemas de recursos hídricos exige que sejam considerados aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais, mutáveis no tempo e associados a incertezas de difícil mensuração. Baseado nisso, é que foram incluídos, neste estudo, os critérios econômicos, sociais e ambientais, para auxiliar a tomada de decisão para escolha de alternativas de infraestrutura hídrica a serem implantadas, na bacia em estudo, tendo em vista assegurar o abastecimento de água em períodos de escassez hídrica. Os critérios a serem avaliados foram subdivididos em atributos (Figura 4.4), ou seja, adotou-se uma estrutura hierárquica para análise do sistema. A idéia por trás desta hierarquização está na forma de quantificá-los ou qualificá-los e expressar a preferência dos decisores. Desta forma a preferência relativa dos decisores poderá ser expressa em dois níveis: um técnico (segundo uma certa lógica quando analisado a nível de atributos) e outro mais subjetivo (que poderá expressar possíveis preferências dos decisores com relação aos critérios quando efetuada uma análise de sensibilidade, conforme será descrito posteriormente).

valores dos parâmetros q (limite de indiferença) e p (limite de preferência forte) da função relativa ao critério i , e atribuir o peso (valor subjetivo para avaliação) do critério i ;

Análises a serem efetuadas – Nesta etapa a matriz dos fluxos de hierarquização (importância) é calculada pelo método;

Análise de sensibilidade – Deve ser redefinida uma matriz de pesos totais para os atributos dada variações nos pesos parciais atribuídos a cada critério;

Dados de saída – Nesta etapa o método fornece um arquivo com os dados de saída.

4.3 – Definição dos Critérios

Segundo Porto *et al.* (1997) a tomada de decisões em sistemas de recursos hídricos exige que sejam considerados aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais, mutáveis no tempo e associados a incertezas de difícil mensuração. Baseado nisso, é que foram incluídos, neste estudo, os critérios econômicos, sociais e ambientais, para auxiliar a tomada de decisão para escolha de alternativas de infraestrutura hídrica a serem implantadas, na bacia em estudo, tendo em vista assegurar o abastecimento de água em períodos de escassez hídrica. Os critérios a serem avaliados foram subdivididos em atributos (Figura 4.4), ou seja, adotou-se uma estrutura hierárquica para análise do sistema. A idéia por trás desta hierarquização está na forma de quantificá-los ou qualificá-los e expressar a preferência dos decisores. Desta forma a preferência relativa dos decisores poderá ser expressa em dois níveis: um técnico (segundo uma certa lógica quando analisado a nível de atributos) e outro mais subjetivo (que poderá expressar possíveis preferências dos decisores com relação aos critérios quando efetuada uma análise de sensibilidade, conforme será descrito posteriormente).

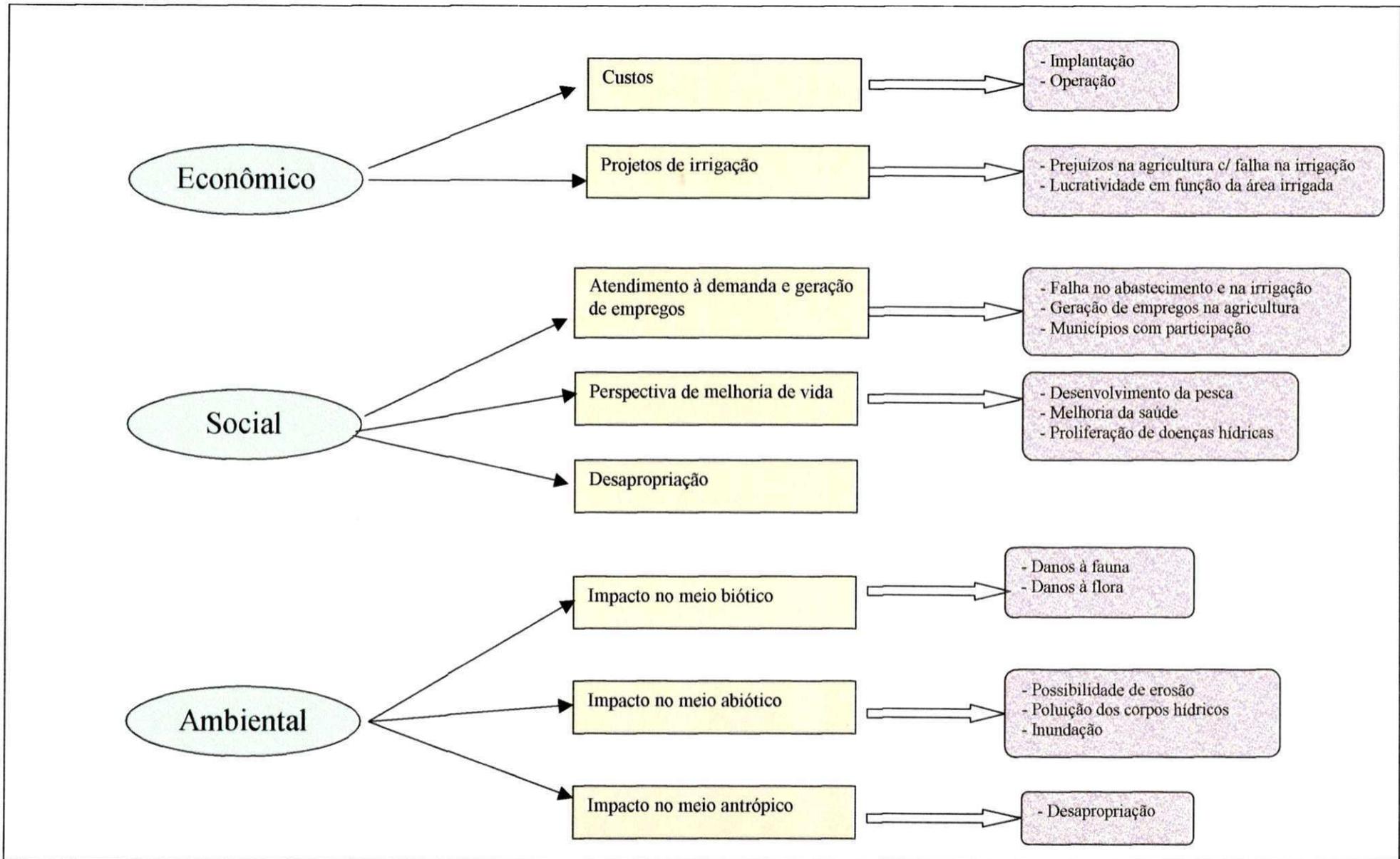


Figura 4.4 – Critérios, atributos e sub-atributos

4.3.1 – Critérios Segundo Objetivos Econômicos

Os atributos para a análise econômica foram estabelecidos com o objetivo de retratar os anseios dos decisores, do ponto de vista econômico, e estabelecer a sua importância relativa aos demais aspectos a serem levados em consideração na análise multicriterial.

Neste estudo, o critério econômico é composto de dois atributos que foram subdivididos da seguinte forma:

1. Custos:
 - a. de implantação
 - b. de operação
2. Implantação de projetos de irrigação
 - a. prejuízos na agricultura com falhas na irrigação
 - b. lucratividade em função da área irrigada

Assim, será permitido ao decisor atribuir pesos diferentes a grupos de atributos, e desta forma expressar sua preferência em relação aos custos e a implantação de projetos de irrigação e atribuir maior peso para o atributo mais importante segundo a sua concepção.

4.3.1.1 – Custos de Implantação e Operação

a) Custos de implantação

A estimativa do custo de implantação de um reservatório é bastante complexa, considerando-se que associado ao custo existem vários fatores como: capacidade volumétrica, topografia do terreno, área de inundação, tipo de material, acesso ao local, disponibilidade de material e equipamento, etc. Então, uma estimativa razoável

exigiria conhecimentos e uma quantificação de todos os fatores determinantes para a composição do custo de implantação de um reservatório. Esse tipo de custo (implantação), torna-se relevante quando da existência de limitações orçamentárias, passando a ser, neste caso, um fator preponderante para a efetiva execução da obra. Porém, neste estudo foi considerado que o custo de implantação poderá não ser de grande relevância por tratar-se de obra pública e, conseqüentemente, depender mais de uma decisão política. Além disso, numa análise multicriterial o mais importante é saber, numa análise comparativa, qual alternativa requer maiores recursos para sua implantação e o seu peso no processo decisório.

Os custos de implantação dos reservatórios planejados nos rios Mumbaba e Gramame foram obtidos em SEMARH (2000a), enquanto o custo de implantação do sistema adutor Abiaí-Papocas foi obtido em SEMARH (2000b).

b) Custos de operação

Os custos anuais de operação dos reservatórios foram estimados como sendo iguais aos seus respectivos custos de implantação vezes o coeficiente de 0,0067, admitido como sendo 0,05 % do fator de atualização (FA) dos custos energéticos (SEMARH, 2000b), dado por:

$$FA = \left[\frac{(1+e)^n - (1+i)^n}{(1+e) - (1+i)} \right] \times \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (4.1)$$

Onde:

FA – é o fator de atualização igual a 13,46;

“i” – é a taxa de descontos ou de juros anuais, adotado como sendo igual a 12 %;

“e” – é a taxa de aumento anual da energia, adotado como igual a 6 %;

“n” – é o número de anos de vida útil do projeto, igual a 30.

Na Tabela 4.5 são apresentadas as estimativas dos custos de implantação e operação dos reservatórios planejados nos rios Mumbaba e Gramame e, os custos referentes à implantação e operação do sistema adutor Abiaí-Papocas obtidos em

SEMARH (2000b). Os dados dos custos de implantação e operação, estimados, para cada alternativa são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.5 – Custos de implantação e operação

Custos	Reservatório	Reservatório	Adutora
	no rio Mumbaba	no rio Gramame	
Implantação(R\$)	9.450.000,00	2.057.500,00	24.038.556,40
Operação(R\$/ano)	63.315,00	13.785,25	18.180.730,00

Tabela 4.6 – Custos de implantação e operação das alternativas

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa	Alternativa	Alternativa	Alternativa	Alternativa
			01	02	03	04	05
Custo de implantação	Min	R\$	0	9.450.000,00	11.507.500,00	33.488.556,40	35.546.056,40
Custo de operação	Min	R\$	0	63.315,00	77.100,25	18.244.045,00	18.257.830,25

4.3.1.2 – Projetos de Irrigação

a) Prejuízos na agricultura com falhas na irrigação

A suspensão parcial ou total de água para irrigação poderá resultar em perdas para agricultura. Um exemplo deste tipo de prejuízo foi evidenciado pelos irrigantes da bacia do rio Gramame, segundo Rosa e Silans (2002). No mês de janeiro de 1999 o suprimento de água para irrigação foi suspenso por determinação de liminar concedida à Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH e quase que no mesmo período, os irrigantes haviam sido contemplados com financiamento do Banco do Nordeste para aquisição de bombas e tubulações.

Os prejuízos na agricultura foram estimados, neste trabalho, em função da falha na irrigação para cada alternativa (Tabela 4.7), onde estas falhas serão computadas sobre a área irrigada existente mais a expansão da área a ser irrigada no ano de 2020.

A partir dos dados de falha no atendimento às demandas (Tabela 4.2) obtidos em Paiva (2001), foram calculadas as falhas totais (Tabela 4.3) para cada alternativa pela seguinte Equação:

$$Flh_{(T)} = \frac{\sum [Flh(i) \times Qdem(i)]}{\sum Qdem(i)} \quad (4.2)$$

Onde:

$Flh_{(T)}$ – é a falha total na irrigação, em %;

$Flh(i)$ – é a falha na irrigação em cada ponto de atendimento, em %;

$Qdem(i)$ – é a vazão de demanda média anual requisitada para irrigação (2020) em cada ponto de atendimento, em m^3/s .

b) Lucratividade em função da área irrigada

O aumento na receita líquida sofre uma variação aproximadamente linear com a área irrigada quando da utilização de um mesmo conjunto de culturas, então o aumento desta receita foi estimado em função da área irrigada (Tabela 4.7).

O cálculo da área irrigada para cada alternativa foi obtido em função da vazão de irrigação de $1 m^3/s$ para cada 1000 ha de área irrigada e da falha total na irrigação, pela Equação 4.3:

$$Airr = (1 - Flh_{(T)}) \times Qdem \times 1000 \quad (4.3)$$

Onde:

$Airr$ – é a área irrigada, em ha;

$Flh_{(T)}$ – é a falha total na irrigação para cada alternativa;

$Qdem$ – é a vazão de demanda para irrigação, igual a $1 m^3/s$.

Tabela 4.7 – Prejuízos e lucratividade com projetos de irrigação

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Prejuízos na agricultura	Min	%	31,53	24,22	20,77	17,23	14,90
Lucratividade	Max	ha	684,7	757,75	792,31	827,69	851,00

4.3.2 – Critérios Segundo Objetivos Sociais

O aumento da oferta hídrica, favorecido pela construção de reservatório (rio Gramame ou rio Mumbaba) e/ou de adutora (transposição de água entre a bacia dos rios Abiaí-Papocas para a bacia do rio Gramame), poderá refletir nos seguintes efeitos sociais: melhoria da qualidade de água (reservatórios como reguladores de vazão e depuradores de rios), aumento na pesca, aumento do potencial de irrigação, ampliação da oferta de trabalho local, suprimento de água para períodos de baixa reserva, ampliação das atividades de recreação, entre outros.

A análise da implantação das alternativas, sob o ponto de vista social, será representada através de três atributos, os quais serão subdivididos da seguinte maneira:

1. Atendimento à demanda e geração de empregos:
 - a. falha no abastecimento
 - b. falha na irrigação
 - c. geração de empregos na agricultura
 - d. municípios com participação
2. Perspectiva de melhoria de vida:
 - a. desenvolvimento da pesca
 - b. saúde
 - c. proliferação de doenças hídricas pela maior carga de efluentes domésticos
3. Desapropriação

4.3.2.1 – Atendimento à Demanda e Geração de Empregos

O atendimento de água para abastecimento urbano e rural pode ser analisado sob a ótica da população a ser beneficiada e sob o número de municípios que serão atendidos, sendo neste último, ressaltada, em especial, as aspirações políticas para desenvolvimentos localizados.

a) Falha no atendimento às demandas urbanas

Conforme citado no Capítulo II, o benefício obtido com o atendimento à demanda de água para abastecimento, devido à construção de reservatórios, pode superar o custo ambiental, uma vez que o impacto da falta d'água nas cidades e indústrias pode apresentar conseqüências desastrosas.

Os efeitos adversos no atendimento à demanda urbana para o ano de 2020 foram avaliados, neste estudo, em função das falhas no atendimento destas (Tabela 4.8). Isto é, a partir dos dados da demanda média anual para abastecimento e das suas respectivas falhas, obtidos em Paiva (2001), foram calculadas as falhas totais para cada alternativa, segundo a Equação 4.2, onde $Q_{dem(i)}$ é a vazão de demanda média anual requisitada para abastecimento urbano (2020) em cada ponto de atendimento, em m^3/s .

Tabela 4.8 – Falha no abastecimento

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Falhas no abastecimento	Min	%	5,33	0,23	0,06	0,11	0,06

b) Falha na irrigação

Do ponto de vista social, faz-se necessário prover o homem com água que garanta além das suas necessidades diárias, de maneira a assegurar seu bem estar social sob a ótica econômica. Isto é, as atividades produtivas a exemplo da agricultura irrigada – que impulsiona a economia regional e gera emprego – deve ser levada em consideração quanto ao atendimento da sua demanda hídrica.

A falta de água para atendimento à demanda para irrigação pode refletir em impacto de grande dimensão, tais como: aumento da miserabilidade e do êxodo rural e com isso, todos os problemas decorrentes dele; a exemplo da diminuição da produção de alimentos, inflação, inchamento das cidades, diminuição da qualidade de vida, aumento da violência, etc. Por este motivo, é que foi considerada a falha na irrigação (Tabela 4.9) na análise do critério social, segundo a Equação 4.2.

Tabela 4.9 – Falha na irrigação

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Falhas na irrigação	Min	%	31,53	24,22	20,77	17,23	14,90

c) Geração de empregos na agricultura

A geração de empregos é um dos mais importantes indicadores do desenvolvimento social, o seu crescimento favorece a melhoria de outros índices sociais, tais como: nível de renda, saúde, educação, lazer, etc.

O aumento da oferta hídrica para a população e para atividades industriais e agrícolas contribui para o aumento da geração de empregos. Foram considerados, neste estudo, apenas os empregos gerados pela agricultura (Tabela 4.10); que segundo estudos do Banco do Nordeste, cada hectare irrigado gera entre 0,8 a 1,2 emprego direto e mais 1 a 1,2 emprego indireto, dependendo do tipo de cultura. Então, foi adotado tanto para o cálculo de empregos diretos como indiretos, um emprego por hectare.

Tabela 4.10 – Número de empregos gerados na agricultura

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Empregos gerados	Max	1/ha	1.369	1.515	1.584	1.655	1.702

d) Municípios com participação

As informações referentes aos municípios atendidos pelos empreendimentos foram obtidas no Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia em estudo (Tabela 4.11). A

construção do reservatório no rio Mumbaba e/ou a importação de água da bacia dos rios Abiaí-Papocas, beneficiará as cidades formadoras da Grande João Pessoa, isto é, João Pessoa, Cabedelo, Bayeux e Várzea Nova (Distrito de Santa Rita). Enquanto, a construção do reservatório no rio Gramame favorecerá o suprimento de água para abastecimento da cidade de Pedras de Fogo e contribuirá com uma pequena parcela para o abastecimento da Grande João Pessoa, ou seja, totalizando 05 (cinco) municípios beneficiados por esta obra.

Tabela 4.11 – Municípios com participação

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Municípios atendidos	Max	-	0	04	05	04	05

4.3.2.2 – Perspectiva de Melhoria de Vida

Este atributo é de difícil quantificação, devido a sua subjetividade. Então, visando a representatividade do seu efeito foram adotados os seguintes fatores:

a) Desenvolvimento da pesca

O desenvolvimento da pesca reflete na perspectiva de melhoria de vida da população, uma vez que a pesca pode servir como fonte de alimento para consumo das famílias da região do empreendimento, como alternativa para a geração de renda, bem como promover atividades esportivas, podendo ser fonte geradora de emprego para a população ribeirinha.

Os tipos de piscicultura existentes são:

- piscicultura extensiva;
- piscicultura semi-intensiva;
- piscicultura intensiva.
- existe ainda, a piscicultura superintensiva.

Porém, a piscicultura extensiva consiste no cultivo de peixes sem a prática de fertilizar a água nem de alimentar os peixes, ou seja, os alimentos naturais da água do açude são a única fonte de alimentação. Diante disso, neste estudo, foi adotada a utilização da piscicultura extensiva, por tratar-se de açude público, cujo principal uso é para abastecimento e, neste caso, não se pode realizar a prática de adubação, a não ser em pequena escala, pois tornaria a água não potável.

Segundo Molle e Cadier (1992), a prática da piscicultura extensiva em açudes de 1 a 5 ha alcança produtividade média de 100 a 150 kg/ha/ano, porém a produção média dos grandes açudes do DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) é da ordem de 120 kg/ha/ano, pois os espelhos d'água são tão grandes que um peixamento e uma exploração da totalidade do açude não são possíveis, além da pesca livre e do grande número de pescadores que impedem qualquer tipo de intensificação.

Foi adotado, neste estudo, para o cálculo da produção média de peixes 120 kg/ha/ano e a metade do espelho d'água, ou seja, considerou-se o reservatório com 50 % da sua capacidade máxima. Na Tabela 4.12 são apresentados os dados da produção média de peixes, estimados, para cada alternativa.

Tabela 4.12 – Desenvolvimento da pesca, ao ano

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Pesca	Max	Kg/ha	0	30.960	43.440	39.420	51.900

b) Melhoria da Saúde

O aumento da oferta hídrica é favorável para a melhoria da saúde física e mental da população, através da melhora nas condições alimentares, do aumento de renda pelo comércio, do lazer, bem como pelo maior fluxo de água que acelera o processo de depuração dos corpos hídricos. Então, neste estudo, o benefício à saúde foi quantificado em função da confiabilidade no atendimento à demanda (Tabela 4.13), dada por:

$$Cfb = 1 - Flh_{(T)} \quad (4.4)$$

Onde:

Cfb – é a confiabilidade;

Flh_(T) – é a falha total no abastecimento urbano.

Tabela 4.13 – Melhoria da saúde em função da confiabilidade no atendimento à demanda

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Melhoria da saúde	Max	%	94,67	99,77	99,94	99,89	99,94

c) Proliferação de doenças hídras pela maior carga de efluentes domésticos

O aumento na disponibilidade de água para abastecimento humano e industrial contribui para um maior aporte de águas residuárias e de efluentes industriais, ocasionando um aumento da carga poluidora nos corpos hídricos, tornando-se provavelmente fonte para disseminação de doenças de veiculação hídrica. Como medida mitigadora, deve-se adotar o tratamento destes efluentes antes de serem lançados nos cursos d'água. A quantificação deste atributo foi estimada em função da vazão disponibilizada para abastecimento de água dos centros urbanos atendidos (Tabela 4.14).

A quantidade ou qualidade da carga de efluentes lançados nos corpos hídricos é de difícil obtenção, pois a ela estão atrelados vários fatores, tais como: disponibilidade de água para abastecimento urbano, quantidade de parcela destinada para consumo humano e industrial, o tipo de efluente lançado, quantidade de efluente tratado, etc.

A quantidade de efluente torna-se um fator secundário, neste estudo, pois esta informação não é de extrema importância. Na verdade, o que interessa é saber qual ou quais as alternativas que venham a gerar maior quantidade de carga de efluentes. Por isso, a carga de efluente doméstico foi estimada em função da vazão disponibilizada para atendimento humano, calculada por:

$$Q_{\text{Disp}} = Q_{\text{Dem}} * C_{\text{fb}} \quad (4.5)$$

Onde:

Q_{Disp} – é a vazão disponível, em m^3/s ;

Q_{Dem} – é a vazão de demanda média anual requisitada para abastecimento urbano (2020), em toda a bacia, igual a $3,56 \text{ m}^3/\text{s}$;

C_{fb} – é a confiabilidade.

Tabela 4.14 – Vazão disponibilizada

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Vazão disponibilizada	Min	m ³ /s	3,37	3,552	3,558	3,556	3,558

4.3.2.3 – Desapropriação

Segundo consta em SEMARH (2000b), o traçado das adutoras para importação de água seguirá as margens das estradas e as tubulações serão assentadas, preferencialmente enterradas, nas faixas de domínios dessas rodovias. Com isso, os problemas decorrentes de desapropriações de terras serão evitados, devido à locação das obras quase sempre na faixa de domínio de rodovias (federais e estaduais) e estradas vicinais existentes.

A construção dos reservatórios nos rios Mumbaba e Gramame resultará em desapropriação de áreas, que foi estimada, neste trabalho, como sendo igual a área a ser inundada pelos respectivos açudes. Na Tabela 4.15 são mostrados os dados de desapropriação, estimados, para cada alternativa.

Tabela 4.15 – Desapropriação

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Área desapropriada	Min	ha	0	516	724	657	865

4.3.3 – Critérios Segundo Objetivos Ambientais

O desenvolvimento sócio-econômico de uma região é de suma importância, porém deve-se reconhecer os impactos ambientais que são geralmente decorrentes desse

desenvolvimento, especialmente, o desmatamento pelos processos de exploração agrícola, inundação ou desertificação, que afeta os aspectos geológicos, hídricos, antrópicos e a biodiversidade local.

Conforme citado no Capítulo II, a formação de reservatórios, geralmente, causa impactos sobre diversos aspectos ambientais de uma bacia hidrográfica. Com o desmatamento e a inundação de áreas do reservatório de acumulação, ocorrem danos à fauna e à flora local. A construção do reservatório para o barramento do curso d'água interrompe o movimento dos peixes e uma forma de minimizar este problema é através da construção de escadas para que os peixes possam transpor o obstáculo.

Neste estudo, consideram-se como atributos para análise das alternativas sob a ótica do critério ambiental os impactos no meio biótico (conjunto de seres vivos), abiótico (meio físico) e meio antrópico, que serão subdivididos como mostrado a seguir:

1. Impacto no meio biótico:
 - a. danos à fauna
 - b. danos à flora
2. Impacto no meio abiótico:
 - a. possibilidade de erosão
 - b. poluição dos corpos hídrico pela maior carga de efluentes domésticos
 - c. inundação
3. Impacto no meio antrópico:
 - a. desapropriação

4.3.3.1 – Impacto no Meio Biótico

- a) Danos à fauna e à flora

A desapropriação de áreas para construção de canais ou para inundação de reservatórios acarreta impactos tanto na fauna quanto na flora, contudo não é possível quantificar com precisão estes impactos para definir, posteriormente, em quanto eles serão minimizados. Diante disso, para análise multicriterial das alternativas serão considerados

os impactos na fauna e na flora, da região, em função da área a ser inundada mais a área irrigada (Tabela 4.16).

Tabela 4.16 – Danos à fauna e à flora

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Danos à fauna e à flora	Min	ha	684,70	1.273,75	1.516,31	1.484,69	1.716,00

4.3.3.2 – Impacto no Meio Abiótico

a) Possibilidade de erosão

O desmatamento de áreas para o cultivo da agricultura contribui para o aumento da erosão do solo, que deve ser minimizada através de adequadas técnicas de irrigação e de plantio para que esse fenômeno possa ocorrer de forma moderada.

A possibilidade de erosão foi estimada, neste estudo, em função da área irrigada (Tabela 4.17).

Tabela 4.17 – Possibilidade de erosão

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Possibilidade de erosão	Min	ha	684,70	757,75	792,31	827,69	851,00

b) Poluição dos corpos hídricos pela maior carga de efluentes domésticos

O aumento da oferta hídrica para abastecimento dos centros urbanos tem como consequência negativa, o aumento da geração de volume de efluentes domésticos pelos centros urbanos atendidos e contribui para maiores impactos nos corpos hídricos. Este impacto pode ser amenizado através da adoção da medida de tratamento dos efluentes domésticos para posterior lançamento nos corpos hídricos. A estimativa da carga de efluentes domésticos foi baseada na vazão disponibilizada para atendimento urbano, que foi calculada pela Equação 4.5 e mostrada na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 – Vazão disponibilizada

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Vazão disponibilizada	Min	m ³ /s	3,37	3,552	3,558	3,556	3,558

c) Inundação

A inundação de áreas pela construção de reservatórios, em alguns casos, resulta em perdas econômicas para alguns setores da economia, a exemplo de terras agricultáveis que passam à condição de leito de reservatórios, ficando inutilizadas para o seu aproveitamento natural - a reprodução vegetal.

Em virtude da inexistência de dados das áreas de inundações dos reservatórios a serem construídos nos Rios Gramame e Mumbaba, estas foram estimadas através da interpolação dos dados da curva Cota-Área-Volume do reservatório planejado no rio Mumbaba, Tabela 4.20. Enquanto, a área de inundação da obra de captação (estrutura vertedora) que irá transpor água da bacia dos rios Abiaí-Papocas para a bacia do rio Gramame foi obtida em SEMARH (2000b), cujo valor é de 141 ha. Os valores, estimados, da área inundada para cada alternativa são apresentados na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 – Inundação

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Área Inundada	Min	Ha	0	516	724	657	865

Tabela 4.20 – Valores de Curva Cota-Área-Volume do reservatório planejado no rio Mumbaba (SEMARH /2000a)

Cota (m)	Área Inundada (ha)	Volume Acumulado (m³)
10	0,0	0,0
11	3,5	17.500,0
12	11,4	92.000,0
13	22,7	262.500,0
14	37,1	561.500,0
15	54,2	1.018.000,0
16	73,8	1.658.000,0
17	96,0	2.507.000,0
18	120,4	3.589.000,0
19	147,1	4.926.500,0
20	176,0	5.775.000,0
21	203,6	7.653.000,0
22	231,2	9.827.000,0
23	258,7	12.276.500,0
24	286,3	15.001.500,0
25	313,9	18.022.500,0
26	352,2	21.353.000,0
27	390,6	25.067.000,0
28	428,9	29.164.500,0
29	467,3	33.645.500,0
30	505,6	38.510.000,0
31	526,3	43.669.500,0
32	547,0	49.036.000,0
33	567,7	54.609.500,0
34	588,4	60.390.000,0
35	609,1	66.377.500,0

4.3.3.3 – Impacto no Meio Antrópico

a) Desapropriação

Um mesmo atributo pode refletir em impactos sob diferentes critérios. Neste estudo, foi admitido o impacto decorrente da desapropriação, também, sob a ótica ambiental. A desapropriação de área foi estimada como sendo igual a área a ser inundada pela obra (Tabela 4.21).

Tabela 4.21 – Desapropriação

Descritivo	Objetivo	Un	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05
Area desapropriada	Min	ha	0	516	724	657	865

4.4 – Peso dos Critérios

Em estudos que envolvem análise multicriterial, geralmente, é utilizada a técnica de aplicação de questionários com o objetivo de se poder representar nos pesos de cada critério ou atributo os anseios dos participantes diretamente envolvidos com as ações a serem tomadas em cada alternativa que for escolhida. Contudo, neste estudo, optou-se pela não utilização deste recurso dada a grande quantidade e variedade cultural dos participantes envolvidos. O trabalho de campo seria enorme, incluindo dificuldades de acesso, e, muito provavelmente, ainda não seria representativo o suficiente. Além disso, a diferença cultural dos participantes envolvidos poderia levar a se formular questionários ou muito simples ou complexos, podendo até mesmo incorrer no erro da tendenciosidade dos aplicadores do questionário ao se tentar esclarecer as perguntas, que gerariam insatisfações. Este processo seria mais viável de se aplicar e simplificado de se formular se existissem comitês de bacias (Gramame-Mamuaba-Mumbaba e Abiaí-Papocas), onde os vários segmentos da sociedade estariam lá representados. Portanto, os pesos foram atribuídos de forma hierárquica, em três diferentes níveis de importância: os atributos e

sub-atributos para satisfação de aspectos técnicos a serem levados em consideração e os critérios social, ambiental e econômico para uma representação mais geral.

As funções de preferência utilizadas no método PROMETHEE expressam a essência da preferência de uma alternativa sobre a outra com relação a cada atributo. Procurou-se, quando possível, fazer uso de funções de preferência que pudessem, também, incluir margens de erro ou tolerâncias tendo em vista que, ao estimar os valores para os atributos relativos às alternativas, eventuais erros poderão ser introduzidos nestes valores, desta maneira os parâmetros das funções possibilitarão a correção destes erros. Para isso, fez-se uso de funções de preferência dos tipos II e III. Para a função do tipo II, foi adotado o parâmetro “q” igual a 10 % e para a função do tipo III foi adotado o parâmetro “p” como sendo igual a 5 %.

Os níveis correspondentes aos atributos e sub-atributos foram quantificados seguindo uma certa lógica técnica para se caracterizar as importâncias relativas destes, enquanto para o nível correspondente aos critérios econômico, social e ambiental foram adotados pesos de valores variáveis para se caracterizar as várias opiniões de possíveis decisores envolvidos no processo.

4.4.1 – Critério Econômico

O estabelecimento dos pesos para os atributos pertencentes ao critério econômico foi adotado pelo grau de importância considerado para cada um. A implantação de projetos de irrigação apresenta vínculo direto com a construção de reservatórios, pois o aumento da irrigação depende da construção de obras que propiciem o aumento da oferta hídrica para essas demandas. Contudo, os custos referentes à implantação de projetos de irrigação não são baixos, por isso foi adotado um peso de 40 % para este e um maior peso, 60 %, para os custos de construção.

Foram atribuídos valores iguais para os pesos parciais relativos aos custos de implantação e operação, devido a semelhante importância destes atributos, cujos valores foram de 50 %.

A implantação de projetos de irrigação terá boa aceitação quando ocorrer aumento na receita líquida, por isso foi atribuído um maior peso para a lucratividade em função da área irrigada (peso de 60%), do que para o atributo relativo a prejuízos na agricultura (peso de 40 %) – uma vez que isso se constitui num fato, indesejável. Os prejuízos na agricultura decorrentes de falhas na irrigação podem prejudicar o plantio de culturas perenes que tem como consequência, a demora de dois a quatro anos para voltarem a produzir, por isso, foi adotado um peso de 40 % para o sub-atributo falha na irrigação.

Na Tabela 4.22 estão sintetizadas as características dos atributos para o critério econômico.

Tabela 4.22 - Funções de preferência e pesos para os atributos do critério econômico

Critério Econômico									
Descrição do atributo		Obj	Função de Preferência					Peso Parcial	Peso
			Tipo	Parâmetros em % valor máximo					
				p	q	s	v		
Custos	Implantação	Min	II	-	10 %	-	-	50 %	60%
	Operação	Min	II	-	10 %	-	-	50 %	
	Total do atributo							100 %	
Projetos de irrigação	Prejuízos na agricultura	Min	II	-	10 %	-	-	40 %	40%
	Lucratividade com a irrigação	Max	II	-	10 %	-	-	60 %	
	Total do atributo							100 %	
								Total do critério	100%

4.4.2 – Critério Social

A distribuição dos pesos entre os atributos do critério social foi feita de acordo com o grau de importância considerado para cada um. Para o atendimento à demanda foi concedido um peso de 50 %, devido à sua maior relevância em relação aos demais; à perspectiva de melhoria de vida foi conferido um peso de 40 %; enquanto para a desapropriação, que reflete efeitos negativos para a população, foi atribuído o menor peso, cujo valor foi de 10 %.

- Atendimento à demanda e geração de empregos

A Lei 9.433/97, que estabelece a política de recursos hídricos, em seu artigo primeiro diz que em situações de escassez hídrica, o uso da água será prioritariamente para o consumo humano e a dessedentação de animais; por isso, foi atribuído maior peso para o sub-atributo relativo à falha no abastecimento (peso de 50 %). Todavia, para a falha na irrigação foi atribuído menor peso (5 %), pois além de beneficiar uma minoria da população da bacia, não possui uso prioritário conforme a lei acima citada.

A geração de emprego na agricultura é pouco significativa, pois o número de empregos ofertados no campo é relativamente baixo quando comparado com os empregos gerados na cidade – através do comércio, indústria, etc – por isso foi atribuído apenas 15 % para esse sub-atributo.

Ao sub-atributo municípios com participação foi concedido o valor de 30 % no peso, devido a sua relativa importância através da melhor distribuição espacial da água, que é favorável a um maior crescimento político e social das cidades e das suas áreas circunvizinhas, o que permite o crescimento de cidades de pequeno porte.

- Perspectiva de melhoria de vida

Aos sub-atributos referentes à melhoria da saúde e desenvolvimento da pesca foram atribuídos pesos relativamente iguais devido a semelhante importância desses atributos. Porém, à saúde foi dada uma maior importância. Diante disso, foram atribuídos para o desenvolvimento da pesca e para a saúde os pesos de 45 % e 50 %, respectivamente. Ao sub-atributo relativo à proliferação de doenças hídricas pela maior carga de efluentes domésticos, foi atribuído apenas 5 % no seu peso, devido a sua baixa importância, uma vez que, a maior parte das sedes a serem beneficiadas tem sistema de tratamento de esgotos, o que acarretará, neste caso, em um nível de impacto pouco significativo.

As características dos atributos do critério social estão sintetizadas na Tabela 4.23.

Tabela 4.23 - Funções de preferência e pesos para os atributos do critério social

Critério Social									
Descrição dos Atributos		Objetivo	Função de Preferência				Peso Parcial	Peso	
			Tipo	Parâmetros em % valor máximo					
				p	q	s	v		
Atendimento a demanda e geração de empregos	Falha no abastecimento	Min	II	-	10 %	-	-	50 %	50 %
	Falha na irrigação	Min	II		10 %			5 %	
	Geração de empregos	Max	II	-	10 %	-	-	15 %	
	Municípios atendidos	Max	III	5%	-	-	-	30 %	
								100 %	
Perspectiva de melhoria de vida	Desenvolvimento da pesca	Max	II	-	10%	-	-	45 %	40 %
	Melhoria da saúde	Max	II	-	10%		-	50 %	
	Proliferação de doenças	Min	III	5%	-		-	5 %	
								100 %	
Desapropriações	-	Min	II	-	10 %	-	-	-	10 %
								Total do critério	100%

4.4.3 – Critério Ambiental

O estabelecimento dos pesos de cada atributo referente a este critério foi adotado, também, em função do grau de importância considerado para cada um deles. Sob o ponto de vista ambiental, o conjunto de seres vivos (meio biótico) e o meio físico (meio abiótico) são considerados como sendo mais importantes do que o meio antrópico. Diante disso, foi atribuído para o atributo impacto no meio biótico o peso de 50 %, para o meio abiótico foi adotado 30 % e ao referente ao meio antrópico foi dado 20 %.

- Impacto no meio biótico

Os danos à fauna e à flora foram considerados de semelhante importância, por isso foram concedidos valores iguais para os pesos parciais relativos a estes sub-atributos, de valores iguais a 50 %.

- Impacto no meio abiótico

Os prejuízos decorrentes da erosão ocorrem em maior dimensão do que em virtude da inundação, porém como a área da bacia em estudo está bastante antropizada foi conferido maior peso (40 %) ao sub-atributo relativo a inundação, e para os demais, quais sejam: possibilidade de erosão e poluição dos corpos hídricos pela maior carga de efluentes domésticos, foram dados pesos semelhantes, no valor de 30 %.

As características dos atributos do critério ambiental estão sintetizadas na Tabela 4.24.

Tabela 4.24 – Funções de preferência e pesos para os atributos do critério ambiental

Critério Social									
Descrição dos Atributos		Objetivo	Função de Preferência				Peso Parcial	Peso	
			Tipo	Parâmetros em % valor máximo					
				p	q	s			v
Impacto no meio biótico	Danos à flora	Min	II	-	10 %	-	-	50 %	50%
	Danos à fauna	Min	II	-	10%	-	-	50 %	
								100 %	
Impacto no meio abiótico	Possibilidade de erosão	Min	II	-	10%	-	-	30 %	30%
	Poluição de corpos hídricos	Min	III	5%	-	-	-	30 %	
	Inundação	Min	III	5%	-	-	-	40 %	
								100 %	
Impacto no meio antrópico	Desapropriação	Min	III	5%	-	-	-	-	20%
								Total do critério	100%

Na Tabela 4.25 estão apresentados todos os critérios, atributos e sub-atributos utilizados no método PROMETHEE para avaliação do problema em estudo.

Critério	Atributo	Min ou Max	Descrição	Métrica e Unidade	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04	Alternativa 05	Função de Preferência				Peso do Sub Atrib.	Peso do Atributo	Peso do Critério	Peso Final %	
										Tipo	Parâmetro							
											p	q	s					v
CRITÉRIO ECONÔMICO																		
1	1-1	-	Custos															
	1-1-1	Min	Implantação	Valor em R\$	0	9.450.000,0	11.507.500,00	33.488.556,40	35.546.056,40	II	-	10%	-	100%	50%	60%	Variável	
	1-1-2	Min	Operação	Valor em R\$	0	63.315,00	77.100,25	18.244.045,00	18.257.830,25	II	-	10%	-	100%	50%			
	Total do sub-atributo													100%				
	1-2	-	-	Implantação de projetos de irrigação (implantação, ampliação e recuperação de perímetros de irrigação)														
	1-2-1	Min	Prejuízos na agricultura com falhas na irrigação	Falha %	31,53	24,22	20,77	17,23	14,90	II	-	10%	-	100%	40%	40%		
1-2-2	Max	Lucratividade em função da área irrigada	Área irrigada em ha	684,70	757,75	792,31	827,69	851,00	II	-	10%	-	100%	60%				
Total do sub-atributo													100%					
Total do atributo													100%					
CRITÉRIO SOCIAL																		
2	2-1	-	Atendimento a Demanda e Geração de Empregos															
	2-1-1	Min	Falha no abastecimento	%	5,33	0,23	0,06	0,11	0,06	II	-	10%	-	100%	50%	50%		
	2-1-2	Min	Falha na irrigação	%	31,53	24,22	20,77	17,23	14,90	II	-	10%	-	100%	5%			
	2-1-3	Max	Geração de empregos na agricultura	Nº de Empregos por ha	1.369	1.515	1.584	1.655	1.702	II	-	10%	-	100%	15%			
	2-1-4	Max	Municípios com Participação	Municípios atendidos	0	04	05	04	05	III	5	-	-	100%	30%			
	Total do sub-atributo													100%				
	2-2	-	-	Perspectiva de melhoria de vida														
	2-2-1	Max	Desenvolvimento da pesca	Quantidade por ha por ano (kg)	0	30.960	43.440	39.420	51.900	II	-	10%	-	100%	45%	40%		
	2-2-2	Max	Melhoria da Saúde	Confiabilidade no atendimento(%)	94,67	99,77	99,94	99,89	99,94	II	-	10%	-	100%	50%			
	2-2-3	Min	Proliferação de doenças hídricas pela maior carga de efluentes domésticos	Vazão disponibilizada (m³/s)	3,37	3,552	3,558	3,556	3,558	III	5%	-	-	100%	5%			
Total do sub-atributo													100%					
2-3	-	Min	Desapropriação	Área desapropriada em ha	0	516	724	657	865	II	-	10%	-	100%	10%			
Total do atributo													100%					
CRITÉRIO AMBIENTAL																		
3	3-1	-	Impacto no meio biótico															
	3-1-1	Min	Danos à flora	Área em ha	684,70	1.273,75	1.516,31	1.484,69	1.716,00	II	-	10%	-	100%	50%	50%		
	3-1-2	Min	Danos à fauna	Área em ha	684,70	1.273,75	1.516,31	1.484,69	1.716,00	II	-	10%	-	100%	50%			
	Total do sub-atributo													100%				
	3-2	-	-	Impacto no meio abiótico														
	3-2-1	Min	Possibilidade de erosão	Área desmatada em ha	684,70	757,75	792,31	827,69	851,00	II	-	10%	-	100%	30%	30%		
	3-2-2	Min	Polluição dos corpos hídricos pela maior carga de efluentes domésticos	Vazão disponibilizada (m³/s)	3,37	3,552	3,558	3,556	3,558	III	5%	-	-	100%	30%			
	3-2-3	Min	Inundação	Área inundada em ha	0	516	724	657	865	III	5%	-	-	100%	40%			
	Total do sub-atributo													100%				
	3-3	-	-	Impacto no meio antrópico														
3-3-1	Min	Desapropriação	Área desapropriada em ha	0	516	724	657	865	III	5%	-	-	100%	-	20%			
Total do atributo													100%					
Total do critério													100%					
Total do sistema													100%					

Tabela 4.25 – Síntese dos elementos aplicados para a avaliação multicritério do problema via o método PROMETHEE

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tomada de decisão em sistemas de recursos hídricos torna-se mais confiável ao se considerar vários aspectos tais como: hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais. Baseado nisso, é que foram incluídos, neste estudo, os critérios econômicos, sociais e ambientais, para auxiliar a tomada de decisão para escolha de alternativas de infra-estrutura hídrica a serem implantadas, na bacia em estudo.

A análise foi realizada a partir da matriz de avaliação composta por 05(cinco) alternativas e 03 (três) critérios divididos em 18 (dezoito) atributos, mostrada de forma hierárquica na Tabela 4.25, via o método PROMETHEE – que tem a vantagem de associar as incertezas do sistema ao método – e, foram atribuídos diferentes pesos a cada critério para exprimir a preferência do decisor quanto a estes.

Conforme foi estabelecido no capítulo anterior, no intuito de eliminar uma possível tendenciosidade e obter resultados mais consistentes, foi feita a análise de sensibilidade para o método, através de variações iguais a 10 %, no valor de cada critério (econômico, social e ambiental) para o intervalo compreendido entre 0 e 100 %, de tal forma que a soma dos pesos atribuídos aos três critérios resultasse em 100 %. Desta maneira, são estabelecidas condições para subsidiar a escolha das alternativas, atendendo as várias definições de preferência dos decisores.

A ordenação das alternativas na análise multicriterial foi estabelecida a partir do método PROMETHEE e das séries de valores atribuídos para os pesos dos critérios de avaliação considerados.

Fazendo uma comparação, preliminar, dos resultados obtidos para a solução do problema estudado, observa-se que para a série total, composta por 66 (sessenta e seis) ordenações de alternativas e obtida a partir da variação dos pesos dos critérios, a “alternativa 1” (situação atual) ocupou 50 % (cinquenta por cento) do primeiro lugar no ranking (Figura 5.1). Esta preferência ocorre quando o peso do critério ambiental for maior ou igual ao do critério social, exceto quando o critério ambiental for menor ou igual a 10 % (preferência da “alternativa 2”), conforme ilustrado na Figura 5.2.

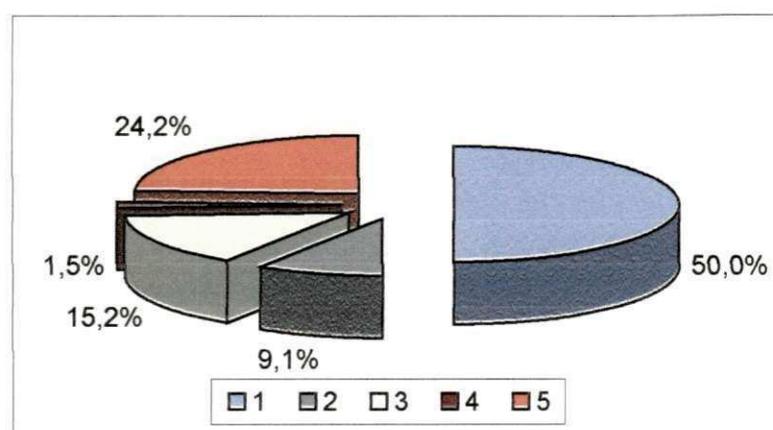


Figura 5.1- Posição das alternativas de acordo com o Ranking

Ainda, de acordo com a Figura 5.2, observa-se que a “alternativa 5” (reservatório no rio Mumbaba + reservatório no rio Gramame + adutora Abiaí-Papocas) corresponderá a alternativa preferencial no processo decisório quando o critério social exceder o critério ambiental em 40 % ou mais.

Ao admitir o critério econômico como sendo nulo (diagonal superior da Figura 5.2) e o critério ambiental maior ou igual ao social, a “alternativa 1” (situação atual) ocupará a primeira colocação no ranking. Porém, quando o critério social assumir 60%, a “alternativa 1” perde o primeiro lugar para a “alternativa 2”. Ainda, para o critério econômico igual a 0% (diagonal superior da Figura 5.2), o intervalo de valores compreendido entre 70 e 100 % para o critério social, contempla a “alternativa 5” como preferencial, conforme Tabela 5.1.

A “alternativa 1” liderará no ranking quando o peso do critério econômico for mantido em 10 % (segunda diagonal da Figura 5.2) e o critério ambiental for maior que

o critério social. Porém, ao conceder maior importância ao critério social (50 até 90 %) e manter o critério econômico em 10 %, a “alternativa 1” perderá o primeiro lugar para as alternativas 2,3 e 5; sucessivamente (Figura 5.2).

Com o critério econômico fixo em 20 % (terceira diagonal da Figura 5.2) e admitindo para o critério ambiental importância maior ou igual ao critério social, observa-se que a ordenação das alternativas é praticamente a mesma (Tabela 5.1) e a “alternativa 1” se mantém na liderança (Figura 5.2). Porém, quando o critério social assumir valor maior que o ambiental, a ordenação das alternativas sofrerá alteração e a “alternativa 1” sede o primeiro lugar do ranking para a “alternativa 3” (critério social igual a 50 % e o ambiental igual a 30 %), em seguida para a “alternativa 5” (peso do critério social variando de 60 a 80 %), conforme Figura 5.2.

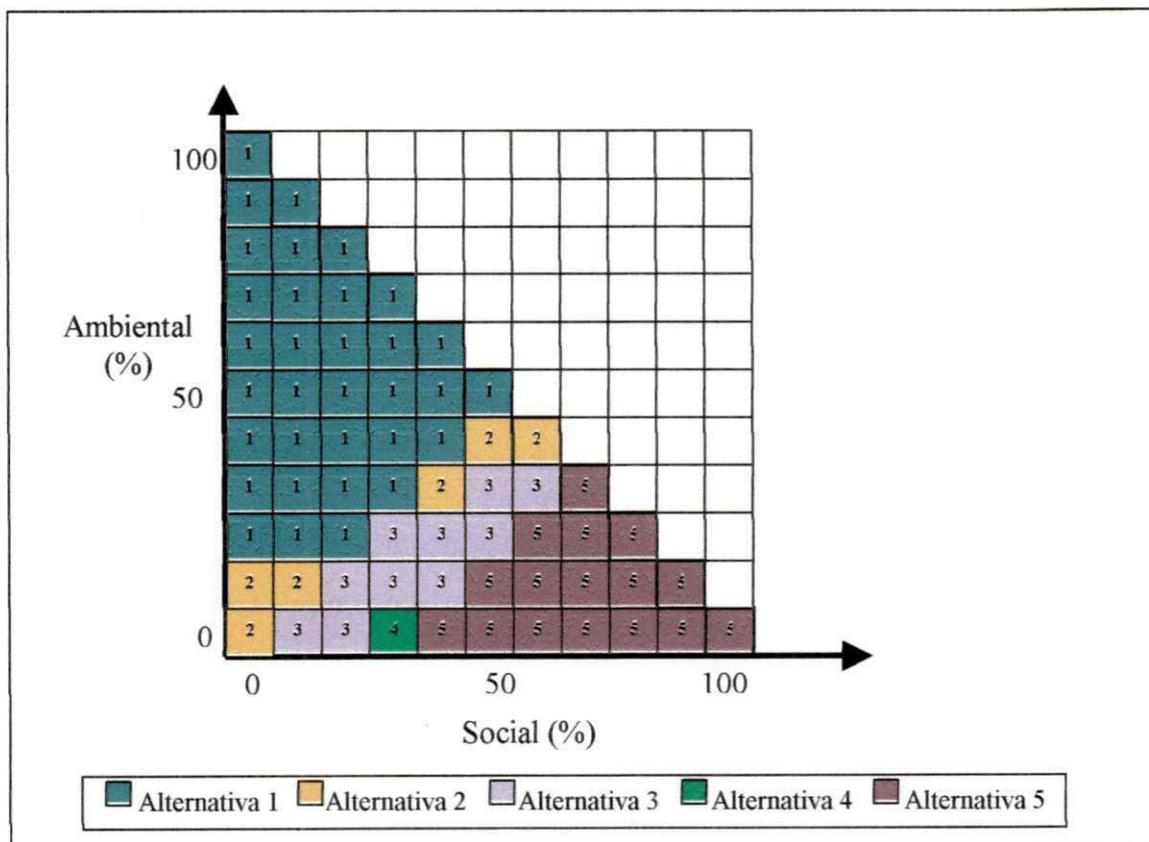


Figura 5.2 - Preferência no Ranking, de acordo com o critério ambiental

A maior importância concedida ao critério econômico, tem como preferência a “alternativa 2” (reservatório no rio Mumbaba); enquanto, ao atribuir maior peso ao critério social a alternativa preferencial será a “alternativa 5”, conforme mostrado na Figura 5.3.

De acordo com a diagonal superior da Figura 5.3, nota-se que ao desprezar o critério ambiental e admitir para o critério social, pesos entre 100 e 40 %, a “alternativa 5” será a escolhida, enquanto ao admitir maior peso para o critério econômico as alternativas contempladas serão 4, 3 e 2, respectivamente.

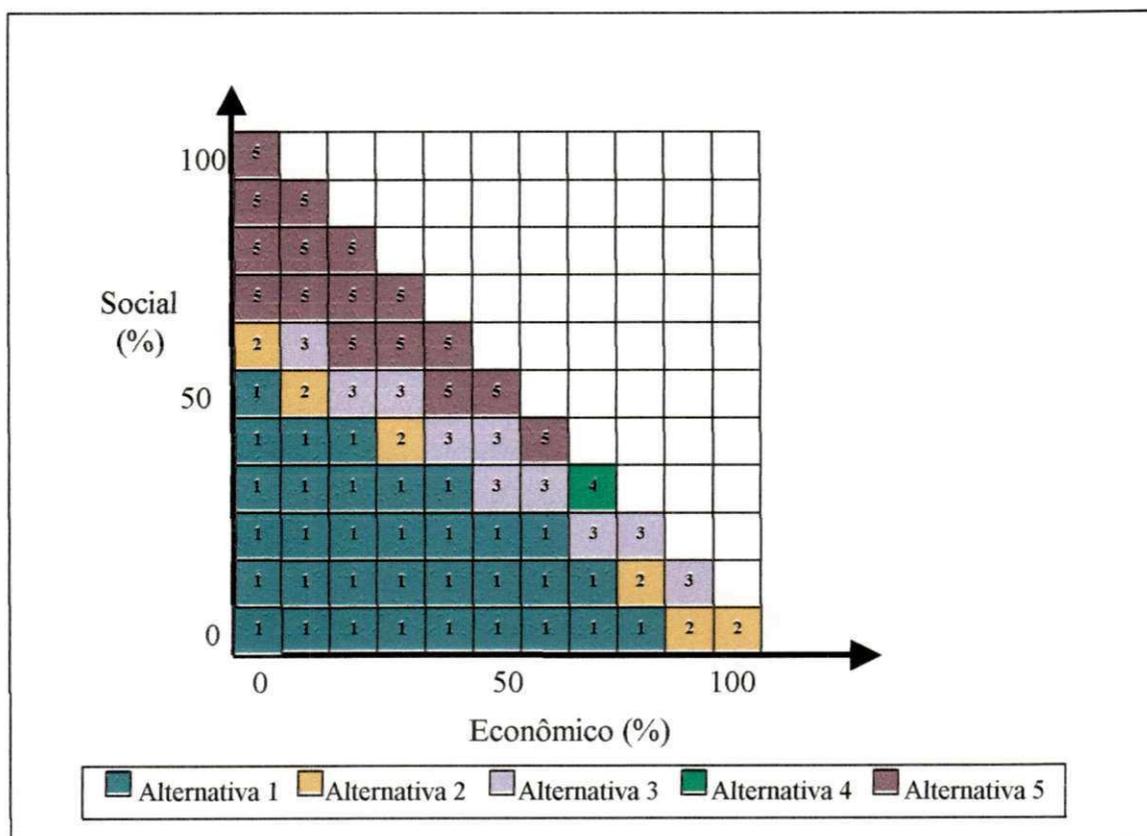


Figura 5.3 – Preferência no Ranking, de acordo com o critério social

De acordo com a Figura 5.4, a maior importância concedida ao critério econômico, contempla a adoção da “alternativa 2”; enquanto, ao atribuir maior peso para o critério ambiental a alternativa preferencial será a “alternativa 1”.

Conforme mostrado na diagonal superior da Figura 5.4, ao considerar o critério social igual a 0 % e o critério econômico igual a 100 e 90 %, respectivamente; a “alternativa 2” será a preferida e para os demais valores atribuídos ao critério econômico, a “alternativa 1” é a de maior relevância.

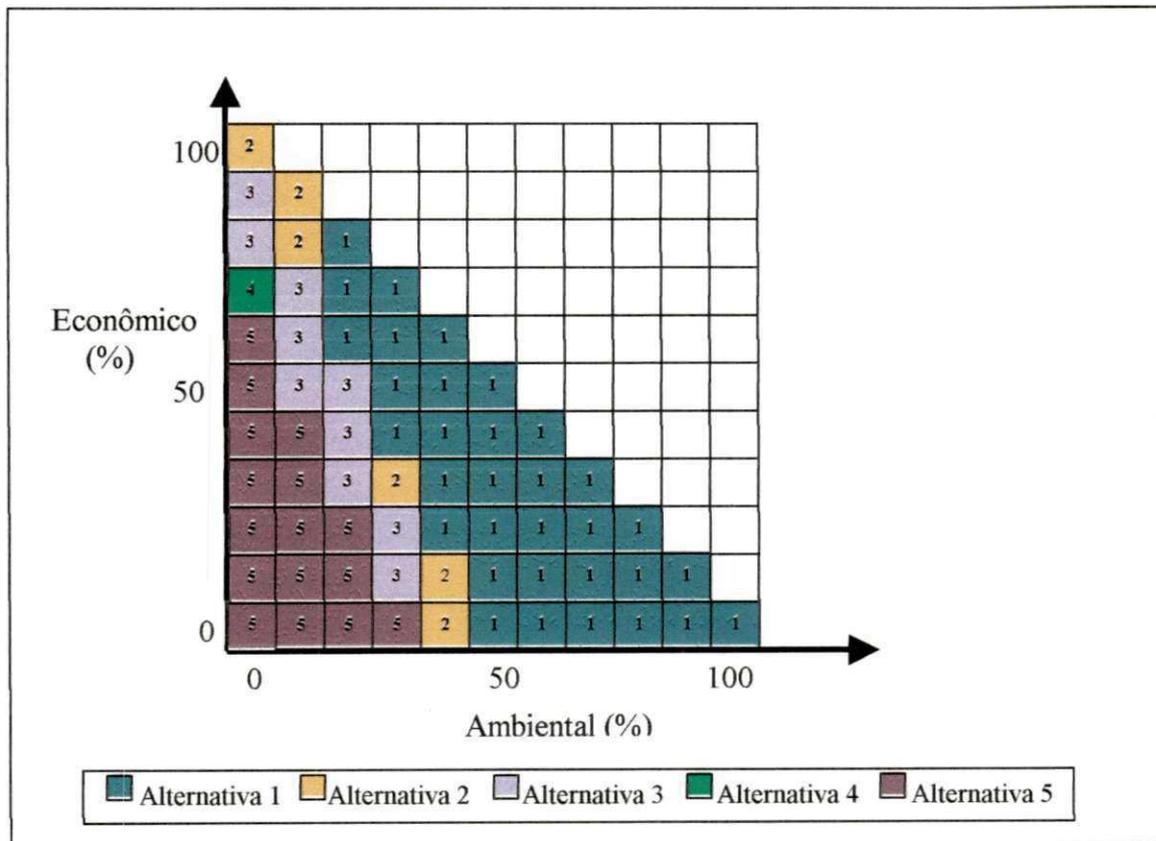


Figura 5.4 – Preferência no Ranking, de acordo com o critério econômico

Tabela 5.1 - Ordenação das Alternativas na Análise Multicriterial

Pesos para os critérios (%)			Ordem das alternativas				
Econômico	Social	Ambiental	1ª ordem	2ª ordem	3ª ordem	4ª ordem	5ª ordem
0.00	0.00	100.00	1	2	4	3	5
0.00	10.00	90.00	1	2	4	3	5
0.00	20.00	80.00	1	2	4	3	5
0.00	30.00	70.00	1	2	4	3	5
0.00	40.00	60.00	1	2	4	3	5
0.00	50.00	50.00	1	2	4	3	5
0.00	60.00	40.00	2	1	3	4	5
0.00	70.00	30.00	5	1	2	3	4
0.00	80.00	20.00	5	3	1	4	2
0.00	90.00	10.00	5	4	2	3	1
0.00	100.00	0.00	5	4	2	3	1
10.00	0.00	90.00	1	2	4	3	5
10.00	10.00	80.00	1	2	4	3	5
10.00	20.00	70.00	1	2	4	3	5
10.00	30.00	60.00	1	2	4	3	5
10.00	40.00	50.00	1	2	3	4	5
10.00	50.00	40.00	2	1	3	4	5
10.00	60.00	30.00	3	1	2	4	5
10.00	70.00	20.00	5	2	1	4	3
10.00	80.00	10.00	5	4	4	3	2
10.00	90.00	0.00	5	4	2	3	1
20.00	0.00	80.00	1	2	4	3	5
20.00	10.00	70.00	1	2	3	4	5
20.00	20.00	60.00	1	2	3	4	5
20.00	30.00	50.00	1	2	3	4	5
20.00	40.00	40.00	1	2	3	4	5
20.00	50.00	30.00	3	1	2	4	5
20.00	60.00	20.00	5	2	1	4	3
20.00	70.00	10.00	5	3	1	4	2
20.00	80.00	0.00	5	4	1	3	2
30.00	0.00	70.00	1	2	3	4	5
30.00	10.00	60.00	1	2	3	4	5
30.00	20.00	50.00	1	2	3	4	5
30.00	30.00	40.00	1	2	3	4	5
30.00	40.00	30.00	2	1	3	4	5
30.00	50.00	20.00	3	2	1	4	5
30.00	60.00	10.00	5	2	1	4	3
30.00	70.00	0.00	5	3	1	4	2
40.00	0.00	60.00	1	2	3	4	5
40.00	10.00	50.00	1	2	3	4	5
40.00	20.00	40.00	1	2	3	4	5
40.00	30.00	30.00	1	2	3	4	5
40.00	40.00	20.00	3	2	1	4	5
40.00	50.00	10.00	5	2	1	4	3
40.00	60.00	0.00	5	3	1	4	2
50.00	0.00	50.00	1	2	3	4	5
50.00	10.00	40.00	1	2	3	4	5
50.00	20.00	30.00	1	2	3	4	5
50.00	30.00	20.00	3	2	1	4	5
50.00	40.00	10.00	3	2	1	5	4
50.00	50.00	0.00	5	3	1	4	2
60.00	0.00	40.00	1	2	3	4	5
60.00	10.00	30.00	1	2	3	4	5
60.00	20.00	20.00	1	3	2	4	5
60.00	30.00	10.00	3	2	1	5	4
60.00	40.00	0.00	5	2	1	4	3
70.00	0.00	30.00	1	2	3	4	5
70.00	10.00	20.00	1	3	2	4	5
70.00	20.00	10.00	3	2	1	5	4
70.00	30.00	0.00	4	2	1	5	3
80.00	0.00	20.00	1	3	2	4	5
80.00	10.00	10.00	2	3	1	4	5
80.00	20.00	0.00	3	2	1	5	4
90.00	0.00	10.00	2	3	1	4	5
90.00	10.00	0.00	3	2	1	5	4
100.00	0.00	0.00	2	3	1	5	4

Os comentários levantados a seguir referem-se às características dos atributos das alternativas, dispostos na Tabela 4.25 no Capítulo anterior.

Conforme análise dos resultados, obtida através do método PROMETHEE, a “alternativa 1” foi a de maior preferência, isto é, ela ocupou 50 % do primeiro lugar no ranking. Enquanto, a segunda colocação foi ocupada na sua maioria pela “alternativa 2”, que obteve 44 vezes a 2ª classificação. Contudo, é importante observar que os resultados obtidos através da metodologia utilizada, corroboram com os resultados a priori esperados, uma vez que, de acordo com os atributos relativos aos critérios ambiental e econômico (Tabela 4.25), estas duas alternativas são as melhores; enquanto, de acordo com as características dos atributos referente ao critério social (Tabela 4.25), elas apresentam características semelhantes com as demais.

Tomando como caso isolado a “alternativa 1”, nota-se que de acordo com as características dos atributos relativos aos critérios econômico e ambiental, ela é a mais favorável, porém apresenta como condição adversa do ponto de vista social, o atributo *falha no abastecimento* (5,33 %), que apresentou a pior condição dentre as demais alternativas (Tabela 4.25). Assim, é importante ressaltar que ao atribuir pesos relativamente significantes para os critérios ambiental e econômico, a “alternativa 1” será a mais relevante no processo decisório, pois causará menor impacto ambiental e gerará menos custos.

De acordo com as características dos atributos da “alternativa 5”, ela é a melhor alternativa do ponto de vista social; isto é, a implantação desta, garantirá menores índices de *falhas no abastecimento urbano e no suprimento de água para irrigação*, bem como *gerará o maior número de empregos na agricultura*, além de promover o maior *desenvolvimento da pesca*, com relação as demais alternativas (Tabela 4.25). Logo, ao conceder maior importância ao critério social, a “alternativa 5” será a de maior relevância.

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No momento em que os problemas sociais e ambientais vão se acentuando e convergindo para conseqüências desastrosas faz-se mister que sejam adotadas medidas de caráter estruturais e não-estruturais para o controle da situação. Torna-se, então, imprescindível à utilização de técnicas que sejam capazes de lidar com esta realidade procurando a minimização de possíveis conflitos, quando maximizando a possível satisfação, especificadas como critérios ou atributos que são quantitativa ou qualitativamente avaliadas, dos participantes do processo decisório. Com a análise multiobjetivo é possível selecionar a melhor alternativa para a solução de um problema através da análise de vários critérios ou objetivos que não se limitam apenas ao ponto de vista econômico, centrado na relação benefício-custo. Neste contexto, fica evidente a grande importância desta abordagem.

O método PROMETHEE foi estudado e aplicado a uma matriz de avaliação, com 5 (cinco) alternativas (ações de intervenções) e 18 (dezoito) critérios que foram agrupados, em três níveis sob as óticas econômica, social e ambiental.

O método se mostrou satisfatório, pois possibilita através da análise multiobjetivo, a consideração simultânea dos critérios econômicos, sociais e ambientais no contexto decisório, para escolha de alternativas de intervenções para ampliação da oferta hídrica em bacia hidrográfica.

É um método de fácil utilização e implementação. Além disso, ele apresenta a vantagem de utilizar funções de preferência que possibilita a inclusão de faixas de tolerância ou margens de erro.

A subjetividade relativa ao julgamento humano foi levada em consideração por meio da adoção de uma gama de valores atribuídos aos critérios avaliados, cujos valores adotados variaram entre 0 e 100 %, numa progressão de 10 %.

A validade da aplicação do método multicriterial PROMETHEE, para a solução de problemas com multiobjetivo para escolha de ações de intervenções, que garanta o aumento da oferta hídrica em bacia hidrográfica fica aqui confirmada.

Além dos dados quantitativos mensuráveis, o método utilizado possibilita a consideração da subjetividade, que permite a introdução de aspectos qualitativos no processo decisório. E, também, possibilita a classificação através de níveis hierárquicos.

Faz-se necessário o conhecimento teórico da técnica multicriterial aplicada, para a obtenção de bons resultados.

A utilização de matrizes quadradas de comparação paritária para representação de exemplos pode ser um meio perfeitamente esclarecedor e produtivo.

A “alternativa 1”, que estabelece a política de não se fazer nenhuma intervenção e que favorece a satisfação de critérios econômicos e ambientais, foi a de maior preferência de toda a série obtida. Isto significa que a maioria dos resultados indica para a adoção de políticas públicas de gerenciamento de recursos hídricos que garantam o abastecimento de água por um bom período na região sem implantar novas infra-estruturas.

Segundo informações obtidas no decorrer da realização deste estudo, o principal responsável pela crise no abastecimento de água na região, no período compreendido entre 1997-1999, que praticamente resultou em um colapso, foi a falta de medidas de gerenciamento, isto é, a falta de manutenção da válvula dispersora pertencente ao complexo Gramame/Mamuaba que perdia por dia, uma quantidade expressiva de água do seu volume de acumulação e, resultou praticamente no esvaziamento do principal reservatório e também, principal responsável pelo abastecimento da Grande João Pessoa.

É importante ressaltar as limitações a que está submetido o estudo realizado e, também, recomendar a consideração de outros critérios na análise multicriterial para estudos futuros.

E, por fim, este estudo fornecerá certamente, subsídios para escolha das alternativas a serem implantadas proporcionando desta maneira, um aumento na disponibilidade hídrica da bacia do rio Gramame.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, L. G. T. e BALTAR, A. M. (2000). Nota Técnica sobre a Atuação do Banco Mundial no Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil. Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: desafios da Lei de Águas de 1997. 2ª Edição. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, p. 58 – 72.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/main.html>.

Acesso: 30 de Maio de 2003.

BARTH, F. T. *et al.* (1987). Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos – Coleção ABRH de Recursos Hídricos – Vol. I. – Editora Nobel/ABRH. São Paulo – SP, 526p.

BARTOLOMEU, T. A.; FERREIRA, M. E. M. (2000) Tomada de Decisão Através de Múltiplo Atributo Difuso: Uma Revisão e uma Nova Técnica de Elucidação das Preferências. In: http://www.eps.ufsc.br/~martins/fuzzy/fuz_ap/fudm2/fudm2.htm. Acesso: 01 de Julho de 2003.

BENAYOUN, R.; MONTGOLFIER, J.; TERGNY, J.; LARITCHIEV, O. (1971). Linear Programming with Multiple Objective Functions: Step Method. *Mathematical Programming*, v.1, n.3, p. 366 – 375.

BRAGA, B. P. F. (1987). Técnicas de Otimização e Simulação Aplicadas em Sistemas de Recursos Hídricos. In: Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos, v.1. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, p. 427 – 518.

BRAGA, B. e GOBETTI, L. (1997). Análise Multiobjetivo. In: PORTO, R. L. L. Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Editora Universidade, UFRGS: ABRH, p. 361 – 418. Porto Alegre-RS.

BRAGA, C. F. C. (2001). Avaliação Multicriterial e Multidecisória no Gerenciamento da Demanda Urbana de Água. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande-PB, 191 p.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. (1985). A Preference Ranking Organisation Method. Management Science, V. 31, n.6, p. 647 – 656.

BRASIL, Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997.

Disponível em: <http://www.aguameioambientevida.hpg.ig.com.br/ag/Lei/lei9433.htm>.

Acesso: 14 de Julho de 2002.

CAGEPA (1994). Sistema de Abastecimento de Água da Grande João Pessoa – Estudos Hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Mumbaba. João Pessoa – PB.

CAMPOS, N. (2001). O Modelo Institucional. In: Gestão de Águas: Princípios e Práticas. 1ª Edição, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, p. 39 – 51. Porto Alegre – RS.

CHARNES, A.; COOPER, W. (1961). Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, v. 1, John Wiley, New York.

CODEVASF/CONSÓRCIO HYDROS TECNOSOLO (2002). Relatório de Estudos de Concepção: Análise Multicriterial. Estudo de Viabilidade do Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Projeto Sertão Alagoano, 65 p.

COHON, J. L. e MARKS, D. H. (1975). A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques. *Water Resources Research*, v. 11, n. 2, p.208 – 220.

CRUZ, C. H.; FABRIZZY, N. L. P. (1995). Impactos Ambientais de Reservatórios e Perspectivas de Uso Múltiplo. *Revista Brasileira de Energia – Vol.4, Nº 1*. Disponível em: <http://www.sbpe.org.br/v4n1/v4n1t1.htm>. Acesso: 03 de Julho de 2003.

DOSSIÊ CEARENSE. (2002). Irrigação para o Futuro. Fortaleza – CE. Disponível em: www.noolhar.com/eleicoes/dceara/160246.html-28k (22/07/02). Acesso: 05 de Setembro de 2003.

DUBREUIL, P. (1974). *Iniciation a L'analyse Hydrologique. (Dix Exercices Suivis des Corrigees)*. Paris, Masson & Cia./ ORSTOM, 216 Ilust.

DUCKSTEIN, L.; OPRICOVIC, S. (1980). Multiobjective Optimization in River Basin Development. *Water Resources Research*, v.16, n.1, p. 14 – 20.

ELIAS, A.A.; RABELO, O.R. (2000). Impactos Ambientais e Econômicos no Reservatório do Rio Atibainha na Cidade de Nazaré Paulista-SP.

Disponível em: <http://www.eco.unicamp.br/projetos/agua/atibainha.doc>.

Acesso: 04 de Julho de 2003.

FARELO, J. P. e MARESCHAL, B. Como Decidir com PROMETHEE? Disponível em: www.promethee-gaia.com/prometheeII. Acesso: 30 de Agosto de 2002.

FILGUEIRA, H. J. A. & SILVA NETO, A. F. da (1999). Estimativa do Consumo de Água para Irrigação na Bacia Hidrográfica do Rio Gramame. In: *I Workshop sobre o Uso e Conservação da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame*. João Pessoa: SUDEMA, 7 p.

GIODA, A. (2002). Problemas Ambientais: Temos Consciência da Influência dos Mesmos em Nossa Vida? Joinville – SC. Disponível em: http://www.terrabrasil.org.br/noticias/materiais/pnt_problemasamb.htm.

Acesso: 18 de Junho de 2003.

GOLDFARB, M. C. *et al.* (2000). Avaliação do Desempenho do Reservatório Mumbaba para Fins de Abastecimento D'água e Irrigação. In: Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. Fortaleza – CE.

GONÇALVES, J. C. L. (2001). Aplicação do Algoritmo PROMETHEE em um Problema de Decisão Multiobjetivo. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 112 p.

HAIMES, Y. Y.; HALL, W. A. (1974). Multiobjectives in Water Resources Systems Analysis: The Surrogate Worth Trade off Method. *Water Resources Research*, v.10, n.4, p. 615 – 624.

HIESSL, H.; DUCKSTEIN, L; PLATE, E. J. (1985). Multiobjective Q-Analysis with Concordance and Discordance Concepts. *Applied Mathematics and Computation*, v.17, p. 107 – 122.

HOBBS, B. F.; CHANKONG, V. e HAMADEH, W. (1992). Does Choice of Multicriteria Method Matter? An Experiment in Water Resources Planning. *Water Resources Research*, v. 28, n. 7, p. 1767-1779.

JARDIM, S. B. (1999). Aplicabilidade de Algumas Técnicas de Análise Multiobjetivo ao Processo Decisório no Âmbito de Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre – RS, 165 p.

KEENEY, R.; RAIFFA, H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press. Canadá, 569 p.

LAMY F. *et al* (2002). Development and Evaluation of Multiple-Objective Decision-Making Methods for Watershed Management Planning. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 38, n. 2, p. 517 – 529.

LANNA, A. E. (1997). Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos, In: PORTO, RUBEM LA LAINA. Técnicas Quantitativas para Gerenciamento de Recursos Hídricos. Editora Universidade, UFRGS: ABRH, p.15 – 25. Porto Alegre – RS.

LIRA, G. A. R., SILVA, A. C. S. e SILVA T. C. (2002). Potencialidades e Disponibilidades de Águas Subterrâneas na Bacia do Rio Gramame. In: Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió – AL. ABRH, 18 p.

LONGANATHAN, G. V.; BHATTACHARYA, D. (1990). Goal-Programming Techniques for Optimal Reservoir Operations. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 116, n. 6, p. 820-838.

MATOS, A. T.; SILVA, D. D. e PRUSKI, F. F. (2003). Impactos Decorrentes da Construção de Reservatórios para Acumulação de Água. Revista Trimestral da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem. Nº 56/57. 4º Trimestre de 2002 e 1º Trimestre de 2003, p. 60 – 66.

MOLLE, F. e CADIER, E. (1992). Manual do Pequeno Açude. 3ª Edição. SUDENE/DPG/PRN/DPP/APR. Recife – PE, 521 p.

MUNÕZ, H. R. (2000). Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: Desafios da Lei das Águas em 1997. 2ª edição. Brasília.

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/main.html>.

Acesso: 30 de Maio de 2003.

NEVES, E.B.; RAMOS, C. M. (2003). Gestão Ambiental de Recursos Hídricos, O Caso do Estuário do Guadiana. Portugal, 15 p. Disponível on line:

http://www.dha.inec.pt/nre/portugues/funcionarios/papers/ramos/guadiana_artigo.pdf.

Acesso: 15 de Setembro de 2003.

NOUVELOT, J. F. & FERREIRA, P. A. S. (1977). Bacia Representativa do Riacho do Navio, Série Hidrologia, n. 4, 249 p. SUDENE.

PAIVA, A. E. D. B.; RIBEIRO, M. M. R. (2000). Outorga dos Direitos de Uso da Água na Bacia do Rio Gramame – PB. In: Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal – RN. ABRH, 10 p.

PAIVA, A. E. D. B. (2001). Simulações Hidrológicas na Bacia do Rio Gramame como Subsídio ao Processo de Outorga. Dissertação de Mestrado, Pós Graduação em Engenharia Civil na Área de Recursos Hídricos da UFPB, Campina Grande, 136p.

PARAÍBA, Lei Estadual nº 6.308 de 02 de Julho de 1996, que Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos.

Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/srh/estagio/legislaçã/estados/doc/630802.doc>.

Acesso: 25 de Junho de 2003.

PHILIP, J. (1972). Algorithms for the Vector Maximization Problem. *Mathematical Programming*, v.2, n.2, p. 207 – 229.

PORTO, R. L. L. *et al.* (1997). Técnicas Quantitativas para Gerenciamento de Recursos Hídricos – Editora Universidade/UFRGS/ABRH. 420 p., Porto Alegre - RS.

RAJABI, S.; HIPEL, K. W. e KILGOUR, D. M. (2001). Multiple Criteria Screening of a Large Water Policy Subset Selection Problem. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 37, n.3, p. 533-546.

ROSA, M. S. M. e SILANS, A. M. B. P. (2002). Percepção Social como Instrumento para a Gestão Participativa dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Gramame, Paraíba. In: Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió – AL. ABRH, 14 p.

ROY, B. (1971). Problems and Methods with Multiple Objective Functions. *Mathematical Programming*, v.1, n.2, p. 239 – 266.

SAATY, T. L. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v.15, p. 234 – 281.

SEMARH. (2000a). Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba. Convênio SEMARH/SCIENTEC. Volumes 1, 2, 3 e 4.

SEMARH (2000b). Sistema Adutor Abiaí-Papocas – Relatório Técnico Preliminar. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba. Convênio SEMARH/SCIENTEC, 126 p.

SILVA, T. C. *et al* (2002). Planejamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Gramame, uma Bacia Litorânea do Nordeste Brasileiro. In: Bacia do Rio Gramame: Hidrologia e Aspectos Ambientais para a Gestão dos seus Recursos Hídricos. Editora da Universidade, UFPB; p. 155- 175.

SUDENE (1984). Dados Climatológicos Básicos do Nordeste. Recife: SUDENE, 56 p.

TEIXEIRA, A. C. e BARBOSA, P. S. F. (1995). Avaliação Multicriterial de Alternativas de Projeto de Barragens de Uso Múltiplo. In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Ruy Sant’Ana, Mônica Porto, Rosa Martins (Ed). ABRH. Publicações 1, v. 3, p. 73 – 84.

TOMMASI, L. R. (1994). Estudo de Impacto Ambiental. CETESB. 354 p. São Paulo-SP.

VAREJÃO e SILVA, M. A. (1987). Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. Editora UFPB. 2ª Edição.

WEN, C. G. e LEE, C. S. (1998). A Neural Network Approach to Multiobjective Optimization for Water Quality Management in a River Basin. *Water Resources Research*. v. 34, n. 3, p. 427 – 436.

YU, P. (1973). A Cass of Decision Problems for Group Decision Problems, *Management Science*, n. 19, p. 936 – 946.

ZADEH, L. A. (1963). Optimality and no Scalar Valued Performance Criteria. IEEE Transactions on Automatic Control, v.8, n. 1, p. 59 – 60.

ZUFFO, A. C. (1998). Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, USP. Escola de Engenharia de São Carlos, 286 p.

ZUFFO, A. C. *et al* (2002). Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento de Recursos Hídricos. Revista RBRH, Volume 07, Jan/Mar de 2002, p. 81-102.