

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**ANÁLISE COMPARATIVA DA IMPORTÂNCIA DE
VINTE AÇUDES NA BACIA DE SUMÉ-PB COM
O EMPREGO DE MÉTODOS MULTICRITERIAL
E MULTIDECISOR**

FERNANDA PATRICIO DO MONTE

Campina Grande
Data: MAIO / 2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E
SANITÁRIA**

FERNANDA PATRICIO DO MONTE

**ANÁLISE COMPARATIVA DA IMPORTÂNCIA DE VINTE AÇUDES NA
BACIA DE SUMÉ – PB COM O EMPREGO DE MÉTODOS
MULTICRITERIAL E MULTIDECISOR**

Campina Grande, PB

Mai de 2013

FERNANDA PATRICIO DO MONTE

**ANÁLISE COMPARATIVA DA IMPORTÂNCIA DE VINTE AÇUDES NA
BACIA DE SUMÉ – PB COM O EMPREGO DE MÉTODOS
MULTICRITERIAL E MULTIDECISOR**

Dissertação apresentada ao curso de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, na área de Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre.

ORIENTADORES:

Professora PhD. Rosires Catão Curi

Professor PhD. Wilson Fadlo Curi

Campina Grande, PB

Mai de 2013





FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

- M772a Monte, Fernanda Patricio do.
Análise comparativa da importância de vinte açudes na bacia de Sumé - PB com o emprego de métodos multicriterial e multidecisor / Fernanda Patricio do Monte. – Campina Grande, 2014.
175 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2014.
- "Orientação: Prof^ª. PhD. Rosires Catão Curi, Prof. PhD. Wilson Fadlo Curi".
- Referências.
1. Bacia de Sumé (PB). 2. Análise Multicriterial. 3. Pequenos Açudes. I. Curi, Rosires Catão. II. Curi, Wilson Fadlo. III. Título.

CDU 556.55(813.3)(043)

FERNANDA PATRICIO DO MONTE

**ANÁLISE COMPARATIVA DA IMPORTÂNCIA DE VINTE AÇUDES NA
BACIA DE SUMÉ – PB COM O EMPREGO DE MÉTODOS
MULTICRITERIAL E MULTIDECISOR**

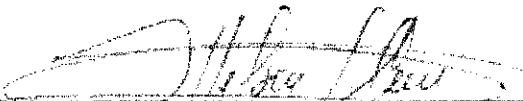
Dissertação aprovada em: 31 de Maio de 2013

COMISSÃO EXAMINADORA:




PhD. Rosires Catão Curi (Orientadora)

Universidade Federal de Campina Grande



PhD. Wilson Fadlo Curi (Orientador)

Universidade Federal de Campina Grande



Dr. Valterlin da Silva Santos (Examinador Externo)

Universidade Federal de Campina Grande



Dr. Camilo Allyson Simões de Farias (Examinador Interno)

Universidade Federal de Campina Grande

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Maria Goretti, meus queridos irmãos, Daniela e Danilo, e a todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista com todo carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu forças para vencer todos os obstáculos em meu caminho. Sem a Sua força nada teria sido possível.

Aos meus familiares, principalmente minha mãe Maria Goretti e meus irmãos Danilo e Daniela pelo apoio, incentivo, carinho e confiança depositados em mim.

Aos Professores Wilson Fadlo Curi e Rosires Catão Curi pela orientação nesta pesquisa, paciência, incentivo e por cada ensinamento.

A banca examinadora, os Professores Camilo Alysson e Valterlin Santos, pela preciosa contribuição a este trabalho através de suas sugestões.

A Wilton Lopes por sempre estar presente nos momentos em que precisei compartilhar meu entusiasmo e angústias, pela infinita paciência em suportar a minha total falta de paciência e pelas coerentes opiniões.

Aos colegas do mestrado com que dividi alegrias e preocupações, Edilma Dantas, Polyana Brito, Nima Lima, Silvânia Lucas, Emanuel Campos, Vagner Sales, Kellianny Aires, João Paulo, David Oliveira, Marília Dantas, Vanessa Batista, Viviane Lucena e Marcelo Barros.

Ao amigo João Paulo, em especial, pelo companheirismo e solicitude no decorrer desses dois anos.

Ao amigo Renato Costa pelo fornecimento de dados, auxílio e sugestões para a elaboração deste trabalho.

Ao colega de pesquisa, Luan Florêncio, pelo auxílio na Análise Multicriterial.

Ao Professor Dr. Valterlin da Silva pelas orientações no Acquanet.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental: Eduardo Enéas, Annemarie Konig, Willson Fadlo, Márcia Ribeiro, Andrea Rodrigues, Camilo Allysson, Rosires Curi, Rui de Oliveira, Carlos Galvão e Iana Alexandre, pela formação prestada e pelos valiosos conhecimentos adquiridos.

Aos funcionários, em especial, Alrezinha, Vera, Josete e Ismael.

A todos que se prontificaram a responder os questionários, possibilitando a realização da presente pesquisa.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram e acrescentaram para a concretização deste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos para a realização deste trabalho.

“Estamos nesse mundo para aprender sempre e para nos esclarecer mutuamente, trocando ideias e tentando fazer com que as ciências e as artes progridam.”

Wolfgang Amadeus Mozart

RESUMO

O semiárido nordestino apresenta baixo volume de escoamento de água dos rios em razão da variabilidade espaço-temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, o que resulta em densas redes de rios temporários. A solução encontrada para minimizar ou, até mesmo, eliminar os efeitos da escassez hídrica dessa região, mais precisamente, no município de Sumé, foi a construção de grandes, médios e pequenos açudes. Entretanto, a maioria deles foi mal dimensionada ou é subutilizada observando-se, então, a necessidade de realizar estudos que considerem a importância dos pequenos açudes para suprir as demandas da região, as contribuições socioeconômicas decorrentes de suas construções e ainda as implicações negativas que poderiam advir dos mesmos. Dentro deste contexto, aspectos socioeconômicos, ambientais e técnico-operacionais, obtidos de análises otimizantes para avaliar o potencial uso dos pequenos açudes e outras informações obtidas in loco, foram elencados e hierarquicamente estruturados para avaliar comparativamente suas performances. Obtida a preferência dos critérios de cada potencial decisor, os açudes foram ordenados com a aplicação do método multicriterial PROMETHEE II. A agregação de ordenações individuais dos decisores ocorreu por meio dos métodos multidecisores de Borda, Condorcet e Copeland. Conforme esperado, a ordenação dos açudes para cada decisor foram diferentes. No entanto, podem-se observar algumas coerências nas avaliações dos critérios pelos decisores demonstrados na ordenação obtida para alguns dos pequenos açudes da região, em especial aqueles com os melhores e piores desempenhos. A análise do desempenho dos açudes por meio de técnicas multicriteriais e multidecisores provê informações relevantes para a gestão de pequenos açudes na região semiárida nordestina, que apresenta uma situação socioeconômica crítica.

Palavras – chave: análise multicriterial; bacia de Sumé – PB; pequenos açudes.

ABSTRACT

The northeastern semiarid shows an insufficient flow of river waters due to the unstable space-time rainfall and dominant geological characteristics, resulting in a dense network of temporary rivers. The solution to minimize or even to eliminate the effects of poor water resources in that region, more specifically in the town of Sumé, was the construction of large, mid and small dams. However, most of them were either badly built or not used at the most of their capacity. We felt the need to make a study which could take into account the importance of the small dams in supplying water for the inhabitants of the region, the socioeconomic contributions of their construction, and the negative implications that the small dams could have. Thus, in order to evaluate the potential use of the small dams and any other information collected locally, we listed and structured hierarchically a number of socioeconomic, environmental and technical-operational aspects obtained from optimizing analyses, with the objective of evaluating their performances in a comparative way. After obtaining the preference criteria of each potential decision maker, the dams were ordered through the application of the PROMETHEE II multicriterial method. The aggregation of the decision makers' individual ordering was done by multidecision means of the Borda, Condorcet and Copeland methods. As expected, the dams ordering done by each decision maker was different. However, we can notice some coherence in the way the decision makers presented the criteria evaluation related to the ordering of some of the small dams in the region, especially those with the best and the worst performances. The dams performance analysis by means of multicriterial and multidecision techniques provides us with relevant information for the management of small dams in the northeastern semiarid region, where there is a critical socioeconomic situation.

Key-words: multicriterial analysis; Sumé basin; small dams.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Localização da bacia hidrográfica de Sumé.....	40
Figura 3.2 – Rede de drenagem de Sumé e os 624 açudes atualizados pela imagem de satélite LANDSAT 5 gerada em 02/05/2008.....	44
Figura 3.3 – Esquema do sistema hídrico.....	45
Figura 4.1 – Funções de preferência do método PROMETHEE.....	50
Figura 5.1 – Gráfico da função objetivo quadrática e linearizada por segmentos da demanda na tomada d'água do reservatório ou do nó no mês t.....	59
Figura 5.2 – Diagrama representando os componentes do sistema avaliados pelo modelo.....	66
Figura 6.1 – Etapas da análise multicritério.....	71
Figura 6.2 – Curva de ajuste do custo de implantação dos reservatórios.....	76
Figura 6.3 – Dimensão, critérios e subcritérios considerados na análise multicritério.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Fundamentos básicos das metodologias MCDM e MCDA no processo decisório.....	29
Tabela 3. 1 – Açudes da bacia de Sumé monitorados pela AESA.....	43
Tabela 3.2 – Açudes da bacia de Sumé objeto de estudo pelo projeto DISPAB – AS.....	46
Tabela 4.1 – Matriz de avaliação.....	51
Tabela 6.1 – Alternativas determinadas para análise multicriterial.....	72
Tabela 6.2 – Descrição dos cenários estudados por Costa (2011).....	73
Tabela 6.3 – Orçamentos da execução das obras de barragens de terra.....	75
Tabela 6.4 – Custo de implantação dos reservatórios obtido no LABfit.....	76
Tabela 6.5. – Custo anual de operação de reservatórios.....	77
Tabela 6.6 – Lucro agrícola anual dos reservatórios.....	78
Tabela 6.7 – Lucro piscícola anual dos reservatórios.....	79
Tabela 6.8 – Resumo dos critérios segundo a dimensão financeira.....	80
Tabela 6.9 – Número de empregos gerados por ano na agricultura.....	82
Tabela 6.10 – Número de empregos gerados por ano na piscicultura.....	83
Tabela 6.11 – Renda gerada por ano na agricultura.....	84
Tabela 6.12 – Renda gerada por ano na piscicultura.....	85
Tabela 6.13 – Valor do atendimento à demanda dos reservatórios.....	86
Tabela 6.14 – Possibilidade de contaminação da água dos reservatórios.....	87
Tabela 6.15 – Resumo dos critérios segundo a dimensão social.....	88
Tabela 6.16 – Área que causa danos à flora e à fauna.....	90
Tabela 6.17 – Possibilidade de poluição da água dos reservatórios.....	91
Tabela 6.18 – Resumo dos critérios segundo a dimensão ambiental.....	93
Tabela 6.19 – Valores do impacto à jusante dos reservatórios.....	96
Tabela 6.20 – Indicador confiabilidade dos reservatórios.....	97
Tabela 6.21 – Indicador resiliência dos reservatórios.....	98
Tabela 6.22 – Indicador vulnerabilidade dos reservatórios.....	99
Tabela 6.23 – Indicador sustentabilidade dos reservatórios.....	100
Tabela 6.24 – Vazões referenciais com 90 % de garantia dos reservatórios.....	102
Tabela 6.25 – Indicador de eficiência IAP dos reservatórios.....	103
Tabela 6.26 – Indicador de eficiência IUD dos reservatórios.....	104
Tabela 6.27 – Indicador de eficiência IUP dos reservatórios.....	105
Tabela 6.28 – Indicador de eficiência η_{Vr} dos reservatórios.....	106
Tabela 6.29 – Indicador de eficiência η_E dos reservatórios.....	107
Tabela 6.30 – Indicador de eficiência η_p dos reservatórios.....	108
Tabela 6.31 – Indicador de eficiência η_V dos reservatórios.....	109
Tabela 6.32 – Indicador de eficiência η_e dos reservatórios.....	110
Tabela 6.33 – Resumo dos critérios segundo a dimensão técnico-operacional.....	111
Tabela 6.34 – Conversão de escala verbal em escala numérica e fator de ponderação.....	114
Tabela 6.35 – Pesos dos critérios normalizados por cada decisor.....	115
Tabela 6.36 – Modelagem de preferência dos atributos da dimensão financeira conforme PROMETHEE.....	116
Tabela 6.37 – Modelagem de preferência dos atributos da dimensão social, conforme PROMETHEE.....	117

Tabela 6.38 – Modelagem de preferência dos atributos da dimensão ambiental, conforme PROMETHEE.....	118
Tabela 6.39 – Modelagem de preferência dos atributos da dimensão técnico-operacional, conforme PROMETHEE.....	119
Tabela 6.40 – Fluxos de importância positivos e negativos referentes ao Decisor I.....	121
Tabela 6.41 – Fluxo líquido das alternativas referente a cada decisor.....	122
Tabela 7.1 – Posição das alternativas pelo método de PROMETHEE.....	125
Tabela 7.2 – Ordenação das preferências para aplicação do método de Borda.....	127
Tabela 7.3 – Posição das alternativas pelo método de Borda.....	128
Tabela 7.4 – Posição das alternativas pelo método de Condorcet.....	129
Tabela 7.5 – Ordenação das alternativas pelo método de Copeland.....	129
Tabela 7.6 – Análise comparativa entre as ordenações dos métodos ordinais.....	130

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	11
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	16
1.1 INTRODUÇÃO.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 Objetivo Geral.....	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	19
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
CAPÍTULO II – REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	21
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE A ANÁLISE MULTICRITERIAL.....	22
2.2.1 A Tomada de Decisão.....	22
2.2.2 Análise Multicriterial.....	24
2.2.2.1 Correntes Científicas de Apoio à Tomada de Decisão.....	25
2.2.2.1.1 Escola Americana.....	26
2.2.2.1.2 Escola Europeia.....	26
2.2.2.1.3 Escola Americana X Escola Europeia.....	27
2.2.2.2 Conceitos Básicos e Elementos do Processo de Decisão Multicritério.....	29
2.2.2.2.1 Problemas e Tipos de Problemática.....	29
2.2.2.2.2 Os Atores do Processo Decisório.....	30
2.2.2.2.3 As Alternativas.....	31
2.2.2.2.4 Os Critérios.....	32
2.2.2.2.5 Função de Preferência.....	34
2.2.2.2.6 Matriz de Decisão.....	35
2.2.2.2.7 A Escolha do Método Multicriterial.....	35
2.2.2.2.8 Análise de Sensibilidade e Robustez.....	35
2.2.3 Aplicações dos Métodos de Análise Multicriterial.....	36
CAPÍTULO III – A REGIÃO E O SISTEMA HÍDRICO EM ESTUDO.....	39
3.1 A REGIÃO.....	39
3.1.1 Localização.....	40
3.1.2 Climatologia.....	41
3.1.3 Geologia.....	41
3.1.4 Pedologia.....	41
3.1.5 Relevo e Vegetação.....	42
3.1.6 Aspectos Econômicos.....	42
3.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA EM ESTUDO: A BACIA HIDROGRÁFICA	

DO AÇUDE DE SUMÉ.....	43
CAPÍTULO IV – MÉTODO MULTICRITERIAL E MULTIDECISOR APLICADO NESSE ESTUDO.....	47
4.1 O MÉTODO PROMETHEE – PREFERENCE RANKING METHOD FOR ENRICHMENT EVALUATION.....	47
4.1.1 Generalidades do Método.....	47
4.1.2 Funções de Preferência do PROMETHEE.....	48
4.1.3 Matriz de Avaliação.....	51
4.1.4 Fluxos de Importância do PROMETHEE.....	52
4.1.5 Família PROMETHEE.....	52
4.2 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS ORDINAIS.....	54
4.2.1 Métodos de Borda (Soma dos Ranks).....	55
4.2.2 Método de Condorcet (Regra Majoritária).....	55
4.2.3 Método de Copeland.....	56
CAPÍTULO V- O MODELO DE OTIMIZAÇÃO ORNAP.....	57
5.1 FUNÇÕES OBJETIVO.....	58
5.1.1 Demandas nas Tomadas de Águas.....	58
5.1.2 Vazão Efluente do Reservatório.....	60
5.1.3 Volume Meta do Reservatório.....	60
5.1.4 Receita Líquida da Agricultura Irrigada.....	61
5.1.5 Mão de Obra na Agricultura Irrigada.....	64
5.1.6 Função Multiobjetivo.....	64
5.2 EQUAÇÕES DE RESTRIÇÃO.....	65
5.2.1 Operação dos Reservatórios.....	65
5.2.2 Aspectos de Restrição da Agricultura Irrigada.....	68
CAPÍTULO VI – METODOLOGIA.....	70
6.1 ETAPAS DA ANÁLISE MULTICRITERIAL.....	70
6.1.1 Formulação do Problema.....	71
6.1.2 Determinação de um Conjunto de Alternativas.....	72
6.1.3 Definição dos Critérios de Avaliação.....	73
6.1.3.1 Critérios Segundo a Dimensão Financeira.....	74
6.1.3.1.1 Custos de Implantação e Operação.....	74
6.1.3.1.2 Lucro Agrícola e Piscícola.....	77
6.1.3.2 Critérios Segundo a Dimensão Social.....	81
6.1.3.2.1 Geração de Empregos na Agricultura e Piscicultura.....	81
6.1.3.2.2 Geração de Renda na Agricultura e Piscicultura.....	83
6.1.3.2.3 Abastecimento Urbano.....	85
6.1.3.2.4 Expectativa de Vida.....	86
6.1.3.3 Critérios Segundo a Dimensão Ambiental.....	89
6.1.3.3.1 Impacto no Meio Biótico.....	89
6.1.3.3.2 Impacto no Meio Abiótico.....	90
6.1.3.4 Critérios Segundo a Dimensão Técnico-Operacional.....	94
6.1.3.4.1 Riscos.....	95
6.1.3.4.2 Desempenho dos Reservatórios.....	100

6.1.4 Determinação dos Pesos dos Critérios.....	113
6.1.5 Agregação dos Critérios.....	119
CAPÍTULO VII – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	123
7.1 ANÁLISES DA APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITERIAL PROMETHEE II.....	123
7.2 ANÁLISES DA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS MULTIDECISOR.....	126
CAPÍTULO VIII – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	132
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
ANEXOS.....	142
APÊNDICES.....	144

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

O semiárido nordestino é uma região pobre em volume de escoamento de água dos rios. Essa situação pode ser explicada em razão da variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, onde há predominância de solos rasos baseados sobre rochas cristalinas e conseqüentemente baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente, o resultado é a existência de densa rede de rios temporários (CIRILO, 2008).

Historicamente, a região Nordeste do Brasil tem sofrido de forma contínua os efeitos de frequentes e prolongadas estiagens, com sérias conseqüências para a população (CIRILO, 2010). Molle e Cadier (1992) relatam que a região semiárida nordestina foi marcada por períodos de extrema seca, destacando-se as secas de 1825-1827-1830, e tal fato marcou a história da açudagem pública, em que represas e açudes foram construídos para a manutenção da água nesta região. Paralelamente ao desenvolvimento da açudagem pública, apesar das prioridades oficiais voltadas para os grandes reservatórios, observou-se, ao longo do tempo, o surgimento espontâneo da pequena açudagem privada.

De acordo com Molle e Cadier (1992), tradicionalmente, os açudes do Nordeste brasileiro foram construídos visando principalmente o abastecimento das populações e dos rebanhos. Essa circunstância contribuiu para a manutenção de um quadro geral de subutilização que estabelece um vivo contraste com o elevado volume d'água armazenado e com o potencial valorizável. Nessa situação, registra-se anualmente uma perda total por evaporação e infiltração que corresponde, em pequenos açudes, a uma lâmina de cerca de três metros

Segundo Lima (2004) a política da construção de açudes apresenta algumas desvantagens, devido principalmente: aos grandes investimentos para implantação dessas obras, associados aos altos custos com desapropriações e a relocação da população, sem contar que algumas bacias hidrográficas já se encontram no seu limite de disponibilidade hídrica superficial. Para Silva *et al* (2009) a construção de pequenos açudes no semiárido do Nordeste brasileiro por motivos históricos, climáticos e políticos, desenvolve-se de forma

intensa, porém desordenada, fazendo-se necessário a implantação de ações adequadas que permitam a utilização otimizada de suas águas. Assim, diante das necessidades e das adversidades climáticas, a busca por reservatórios mais eficientes torna-se um desafio constante para os profissionais que trabalham com o planejamento de recursos hídricos (LEÃO, 2008).

De acordo com Cirilo (2010) a região semiárida Nordestina do Brasil tem no correto aproveitamento dos seus escassos recursos hídricos a condição absolutamente indispensável, embora não suficiente, à superação da sua situação de subdesenvolvimento econômico e social. Santos (2009 apud CURI, 2005) sustentam que para proporcionar melhorias no padrão econômico e social e, por conseguinte, na qualidade de vida da população, é imprescindível lançar mão de tecnologias adequadas ao clima da região para promover o uso racional dos recursos naturais existentes.

Segundo Barros (2010) os pequenos açudes surgiram como uma solução para minimizar ou, até mesmo, eliminar os efeitos da escassez hídrica da região nordestina, sob o propósito de atenuar a variabilidade espacial e temporal das vazões, armazenando água nos períodos chuvosos para utilizá-la nos períodos de seca. Entretanto, a construção da maioria desses açudes foi mal dimensionada, fazendo com que eles não apresentassem sustentabilidade hídrica e nem tão pouco eficiência no seu sentido pleno (COSTA, 2011).

Diante desse e de outros fatos, o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos passam a ter importância fundamental, haja vista, a criação da Lei das Águas do Governo Federal (Lei N^o 9433/97) que estabeleceu diretrizes para o gerenciamento e planejamento das ações para os usos dos recursos hídricos, de modo a proporcionar um melhor aproveitamento, controle e conservação desses recursos, dentro de uma política participativa e descentralizada, envolvendo governo e sociedade. O planejamento, portanto, é uma ação no sentido de melhor aproveitar, controlar os usos e conservar a água desses reservatórios, e deve ser capaz de atender as demandas dos usos múltiplos por meio da integração e otimização do sistema (COSTA, 2011).

Barros (2010) afirma que a irregularidade hídrica no semiárido nordestino, mais precisamente, no município de Sumé - PB vem sendo tratada com a construção de reservatórios superficiais de grande, médio e pequeno porte. Porém, as altas taxas de evaporação, a aleatoriedade das vazões afluentes e a falta de um estudo planejado sobre a captação e uso da água destes açudes e seus impactos socioeconômicos e ambientais na região estão entre os principais fatores da não minimização do problema de escassez hídrica desta região. Segundo Lima (2004) o maior exemplo de intervenção na bacia hidrográfica de Sumé,

sem o devido planejamento integrado dos recursos hídricos ocorreu no açude público de Sumé, situado na região mais carente em termos desses recursos, onde a implantação de um reservatório à montante condenou o mesmo a não mais acumular água suficiente para atender a demanda hídrica da região.

Para Santos e Curi (2013) os estudos relacionados a esta bacia devem considerar a importância dos pequenos açudes para suprir as demandas da região, as contribuições socioeconômicas decorrentes de suas construções e ainda as implicações negativas que podem advir dos mesmos; como a inutilização da terra, a geração de novos conflitos relativos à alocação da água, a influência que estes pequenos reservatórios tem sobre os maiores e sobre as características nativas da vegetação, relevo, etc.

Ainda de acordo com Santos e Curi (2013), com base nestes aspectos deve ser feita uma abordagem do processo decisório, apreciando ainda outras características do sistema como um todo, entre elas: a capacidade de operação integrada, as mudanças socioculturais derivadas da implantação de novos açudes, ou desativação de algum, e as adequadas formas de utilização dos recursos; para favorecer da melhor maneira possível o uso destes reservatórios e em casos excepcionais até mesmo o seu descomissionamento.

Segundo Matzenauer (2003) o panorama atual do processo de planejamento de recursos hídricos indica a existência de múltiplos interesses setoriais e múltiplos objetivos a serem perseguidos, como objetivos financeiros, ambientais, sociais e técnicos. Assim, soluções que atendam da melhor forma a um dos objetivos poderão não atender adequadamente aos demais. Por isso, técnicas de análise multicritério poderão ser empregadas para esboçar soluções de compromisso entre os diversos objetivos e de acordo com os interesses dos decisores.

Conhecidos os problemas da bacia hidrográfica de Sumé observou-se a necessidade de melhor gerenciá-la através de uma abordagem decisória, com o uso de indicadores e índices aplicados a esse sistema de recurso hídrico, que considerassem os aspectos socioeconômicos, ambientais e técnico-operacionais, apresentando a análise através de múltiplos critérios que se constitui na ferramenta adequada para este tipo de problema.

Dentro desse contexto, nessa pesquisa foi realizado um levantamento em trabalhos anteriores de todas as informações obtidas, a respeito da Bacia do açude de Sumé, com o propósito de avaliar o atual e potencial de uso dos açudes à montante do açude de Sumé observando os maiores benefícios assim como os maiores impactos do uso de suas águas e ordenando, segundo a preferência dos decisores, os melhores açudes, através do método multicriterial PROMETHEE II e por meio de métodos multidecisores de Borda, Condorcet e

Copeland. Os açudes foram avaliados com base em indicadores que puderam ser quantificados e verificados em função dos dados coletados ou gerados, com vistas a prover diretrizes para melhorar o aproveitamento de suas águas ao mesmo tempo em que estimulará o desenvolvimento socioeconômico da região preservando os seus recursos naturais e minimizando o impacto de suas construções no comprometimento do uso da água em açudes de maior porte.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise comparativa do desempenho dos pequenos açudes à montante do açude de Sumé por meio do uso de métodos multicriterial e multidecisor.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Elencar potenciais indicadores e índices socioeconômicos, ambientais e técnico-operacionais dos pequenos açudes da bacia do açude de Sumé, com base nas informações obtidas, para que possam subsidiar processos decisórios;
- Apresentar uma visão sistêmica dos principais aspectos decisórios dos pequenos açudes estruturando o problema, de forma hierárquica, nas dimensões financeira, social, ambiental e técnico-operacional;
- Adequar o problema de caracterização da importância de cada açude nos moldes de uma análise multicriterial e multidecisor com base em índices e indicadores calculados para uma situação de otimização dos recursos hídricos;
- Estabelecer para cada decisor o ordenamento de suas preferências em relação ao grau de importância dado a cada um dos 20 açudes contemplados na pesquisa;
- Efetuar a comparação do ordenamento das preferências dos decisores pelos métodos ordinais: método de Borda, Condorcet e Copeland;
- Ordenar quais os açudes da bacia de Sumé que apresentam melhor potencial de uso de suas águas com base na opinião de vários decisores e diferentes critérios.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em seis capítulos, incluindo este capítulo introdutório. Os demais capítulos são referentes a:

Capítulo II – **Revisão de Literatura**. Aborda o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, a utilização de métodos e ferramentas de auxílio à tomada de decisão baseados na técnica de análise multicriterial e são apresentados alguns estudos com métodos multicriteriais.

Capítulo III – **Região e o Sistema Hídrico em Estudo**. Descreve a região em estudo, a bacia hidrográfica do açude de Sumé – PB, enfocando as características gerais de localização, climatologia, geologia, pedologia, relevo e vegetação e, por fim, a situação socioeconômica.

Capítulo IV – **Método Multicriterial Aplicado**. Relata o que objetiva e propõe o método PROMETHEE, assim como o que motivou a sua escolha neste trabalho, descreve as suas funções de preferências e as famílias do método, como elaborar a matriz de avaliação, como calcular os fluxos de importância e, por fim, as generalidades do PROMETHEE II. Além de pontificar sobre os métodos ordinais de apoio à decisão: método de Bordá e os métodos de Condorcet (Mini-Max) e Copeland.

Capítulo V – **Modelo de Otimização ORNAP**. É descrito o modelo multiobjetivo adotado por Costa (2011), assim como apresentadas as suas funções objetivo e equações de restrição.

Capítulo VI – **Metodologia**. Estão descritas as etapas metodológicas desenvolvidas no decorrer da pesquisa tais como: formulação do problema, determinação do conjunto de alternativas, definição dos critérios, determinação dos pesos dos critérios e agregação dos critérios.

Capítulo VII – **Resultados e Discussões**. É feita a apresentação dos resultados obtidos na pesquisa e as discussões acerca dos mesmos.

Capítulo VIII – **Conclusões e Recomendações**. É exposto as principais conclusões a partir da análise dos resultados realizada no capítulo anterior e dos objetivos geral e específicos da pesquisa, ao mesmo tempo em que são sugeridas recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Os recursos hídricos desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de qualquer sociedade, em especial nos países em desenvolvimento. Excesso ou déficit deste precioso e vital recurso é igualmente problemático e merece atenção de qualquer governo responsável (BRAGA *et al.*, 1998).

Brigagão e Netto (2007) afirmam que apesar da abundância da água na Terra, ela é reconhecidamente hoje um recurso que pode ser considerado escasso tendo em vista seus usos e vocações. Conhecer as características de cada uso da água e os fatores que determinam suas demandas é elemento importante para que se possa racionalizar o seu uso.

A sustentabilidade, o planejamento e a gestão devem ser discutidos dentro do contexto de desenvolvimento sustentável, onde o atendimento das aspirações da população atual não venham a comprometer a capacidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades, principalmente nas regiões semiáridas, como é o caso do Nordeste brasileiro, onde o uso racional e otimizado dos recursos hídricos passa a ser imprescindível, face às peculiaridades climáticas e ambientais, que condicionam as atividades humanas e o desenvolvimento social da região (VIEIRA, 1996).

Zuffo *et al.* (2002) relata que o planejamento de recursos hídricos passa atualmente por um período de reformulação de seus procedimentos de avaliação de alternativas e no desenvolvimento de técnicas correspondentes. Essa mudança parte da tradicional análise custo-benefício para a análise multicriterial. A principal desvantagem da primeira em relação à segunda é a impossibilidade de incluir outros objetivos, além da maximização dos benefícios econômicos ou minimização dos custos.

Várias são as ferramentas e métodos utilizados no campo do planejamento e gestão de recursos hídricos, como instrumentos de suporte à tomada de decisão, orientadas para a gestão contínua e integrada e o uso racional desses recursos. Vários são, também, os atores e agentes que, de uma forma ou de outra, estão envolvidos nessa questão e que atuam no processo de decisão, uma vez que a utilização de recursos hídricos envolve interesses múltiplos e, às vezes, conflitantes (Pompemayer, 2003).

Faria *et al.* (2002) afirma que a gestão dos recursos hídricos deve abranger de forma integrada os aspectos relativos a: legislação, interesses múltiplos e conflitantes de diferentes usuários da água, aspectos sociais e à irregularidade da distribuição espacial e temporal de disponibilidades e demandas. As estratégias de gestão devem estar baseadas em critérios e objetivos extraídos dos fatores socioeconômicos, ambientais e técnico-operacionais considerando-as como parte de uma estrutura de decisões mais ampla a fim de assegurar que as tomadas de decisão, sobre recursos hídricos, sejam técnica e ambientalmente sustentáveis.

Nesse sentido, segundo Carvalho e Curi (2012), nota-se que a gestão dos recursos hídricos é um processo decisório complexo, repleto de variáveis e dados que necessitam ser estruturados de modo que possa ser capaz de contribuir para um melhor planejamento e gerenciamento da situação hídrica no intuito de contribuir para a melhoria e definição de políticas públicas.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE A ANÁLISE MULTICRITERIAL

2.2.1 A Tomada de Decisão

Na história da humanidade o homem sempre se deparou com problemas onde teve que tomar decisões, sendo consciente ou não, e acontecendo entre erros e acertos. No dia-a-dia, praticamente em todos os instantes, as pessoas necessitam tomar decisões, algumas vezes simples, outras bem mais complexas. E adaptando-se às novas realidades, o ser humano foi avançando na forma de tomar suas decisões (CEOLIM, 2005).

Cruz (2007 apud ENSSLIN & BORGET, 1998) define a tomada de decisão como um esforço para tentar resolver um problema de objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência de solução ótima e conduz à procura do melhor compromisso.

Para Costa (2005) uma situação ou problema de decisão caracteriza-se por uma necessidade de avaliação de um conjunto de alternativas, para que se realize uma escolha ou decisão. Segundo Zeleny (1982) uma decisão ocorre mesmo quando o decisor decide por não decidir.

Por ser tão rotineiro, supõe-se que a tomada de uma decisão seja algo totalmente compreendido e conhecido, entretanto, tal fato não acontece. O que se verifica é a pouca presença de metodologia no sentido de orientar e apoiar o processo decisório, de modo que se torne uma atividade estruturada (CEOLIM, 2005).

Sendo assim, é possível concluir segundo Bana e Costa (1988), que a tomada de decisão é de fato parte integrante da vida cotidiana, entretanto é também uma atividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, diante da qual se tem que escolher não apenas entre possíveis alternativas de ação, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas ações. Por isso, é preciso considerar toda uma multiplicidade de fatores direta e indiretamente relacionados com a decisão a ser tomada.

Dentro do processo de decisão, em geral são estabelecidos conflitos de interesse a partir das visões distintas dos decisores, quer sejam econômicas, quer sociais, políticas, ambientais etc. Dessa forma, e por serem pessoas diferentes, é ao menos razoável aceitar que suas habilidades são desenvolvidas de maneira diferente e com comportamentos desiguais (CARVALHO *et al.*, 2011). Nesse sentido a problemática da tomada de decisão nos dias atuais é caracterizada por um número crescente de alternativas e critérios conflitantes, dentre os quais os decisores necessitam selecionar, ordenar, classificar ou, ainda, descrever com detalhes as alternativas a serem selecionadas, considerando múltiplos critérios (ARAÚJO & ALMEIDA, 2009).

A tomada de decisão deve buscar a opção que apresente o melhor resultado, a melhor avaliação, ou ainda, o melhor acordo entre as expectativas do decisor e as suas disponibilidades em adotá-la, considerando a relação entre elementos objetivos e subjetivos (SOARES, 2004).

Na visão de Bana e Costa (1988), o processo decisório pode ser dividido em duas fases: uma de análise do sistema em estudo, conducente à identificação, caracterização e hierarquização dos principais fatores intervenientes e a explicitação das alternativas de decisão potenciais, que se pretendem comparar entre si; a outra fase, de avaliação propriamente dita no sistema, que pode ser denominada de síntese, tem a finalidade de esclarecer a escolha, recorrendo à aplicação de métodos multicritério para apoiar a modelagem das preferências dos atores e sua agregação.

A tomada de decisão envolvendo problemas de recursos hídricos é bastante complexa, devido à qualidade das informações disponíveis, aos vários decisores envolvidos no processo, a inclusão de vários critérios e outros fatores (SANTOS, 2009). Bana e Costa (1988) considera que para ser capaz de tomar decisões em problemas complexos é importante envolver, manter, rever e atualizar, continuamente, todos os pontos de vista, valores, opiniões e convicções sobre a realidade.

Nota-se, portanto, que a complexidade da tomada de decisão requer um tratamento qualificado e justifica a utilização de métodos de apoio a decisão. Sistemas de apoio à tomada

de decisão não resolvem problemas, nem são destinados a fazê-lo. O seu objetivo é proporcionar discernimento e criatividade para auxiliar os decisores a tomar a melhor decisão (BELTON & STEWART, 2002).

2.2.2 Análise Multicriterial

A história da análise multicriterial teve início com o trabalho de Pareto (1896), que examinou um problema de agregação de critérios dentro de um critério simples, definindo o conceito da eficiência entre duas alternativas de decisão (ZUFFO *et al.*, 2002). Contudo, até a primeira metade do século XX, as tomadas de decisão tinham base na esperança matemática (Gomes *et al.*, 2006). Somente durante a Segunda Guerra Mundial a Pesquisa Operacional (PO) ganhou grande impulso quando passou a ser utilizada como ferramenta de tomada de decisão no cenário militar inglês e norte americano, objetivando diminuir os custos e gastos e aumentar os lucros (ZUFFO *et al.*, 2002).

De acordo com Matzenauer (2003) os métodos utilizados pela PO tradicional seguem a lógica dos métodos monocritério que visam otimizar (minimizar custos ou maximizar benefícios) um determinado critério. Por outro lado, não conseguem lidar adequadamente com processos decisórios que envolvem situações complexas, por não conseguirem levar em conta os diversos aspectos considerados relevantes no processo de tomada de decisão.

A partir do final da década de 60, surgiu então a necessidade de resolver situações em que os decisores deveriam considerar diversos critérios simultaneamente (ACOLET, 2008). Mas, segundo Gonçalves (2011), somente no início dos anos 70, a nova fase do processo de apoio à decisão "começou a tomar forma e a organizar-se na comunidade científica, antes dispersa, interessada pelo 'domínio do multicritério' a partir da célebre conferência de outubro de 1972 na Universidade da Carolina do Sul, organizada por James L. Cochrane e Milan Zeleny" (BANA E COSTA *et al.*, 1997).

Assim, surgiram os métodos multicritério, que se caracterizam por considerar vários aspectos nos processos de tomada de decisão, avaliando as alternativas segundo um conjunto de critérios. Os métodos multicritério visam atingir basicamente dois objetivos: auxiliar no processo de escolher, ordenar ou classificar alternativas e incorporar múltiplos aspectos neste processo. Assim, a característica básica dos métodos multicritério é a necessidade de obter informações sobre as preferências dos decisores (MATZENAUER, 2003).

As etapas relativas à análise multicriterial, segundo SOARES (2003), são:

1) Formulação do problema: refere-se à definição do que se quer decidir;

2) Determinação de um conjunto de ações potenciais: nesta etapa os atores envolvidos na tomada de decisão devem constituir um conjunto de ações (alternativas) que atendam ao problema colocado;

3) Definição dos critérios: definem-se os critérios de avaliação dos efeitos causados ao meio ambiente;

4) Avaliação dos critérios: geralmente se dá através de uma matriz de avaliação ou tabela de performance;

5) Determinação de pesos dos critérios: os pesos representam a importância relativa de cada critério;

6) Agregação dos critérios: após o preenchimento da matriz de avaliação e a definição de um modelo matemático, é feita a associação das avaliações dos diferentes critérios para cada ação.

Gomes *et al.* (2007) ressalta que os métodos multicritério nunca se propuseram a trazer uma solução ótima, ou seja, a solução ideal diante de todos os problemas e pontos de vista. O objetivo desses métodos é o de propor ao menos uma solução que se encaixe nesses pontos de vista da maneira mais satisfatória possível. Os métodos multicritério são usados para seleccionar, ordenar, classificar ou descrever alternativas que levarão à uma tomada de decisão (ACOLET, 2008).

2.2.2.1 Correntes Científicas de Apoio à Tomada de Decisão

A complexidade dos problemas reais próprios da sociedade moderna é caracterizada, principalmente, pela divergência de opiniões dos participantes envolvidos, refletindo aspectos econômicos, sociais, políticos, administrativos, psicológicos, e outros. Geralmente, não há uma solução capaz de satisfazer a todos os aspectos, então as metodologias multicriteriais se revelam adequadas para representar esta realidade, estas metodologias desenvolveram-se, basicamente, segundo duas escolas: a Escola Americana e a Escola Europeia (ENSSLIN, 2002).

Dessa forma, Acolet (2008) afirma que, essas escolas surgiram com o intuito de criar procedimentos claros e transparentes que trariam as melhores soluções possíveis para situações em que o decisor se deparasse com diversos critérios. Santos (2009) considera que as duas correntes científicas concordam que para uma adequada decisão é mister que sejam considerados outros aspectos, além dos relacionados ao econômico.

2.2.2.1.1 Escola Americana

Segundo Larrubia (2010), a Escola Americana, através da vertente Multicriteria Decision Making (MCDM) ou Tomada de Decisão a partir de Múltiplos Critérios, enfatiza o processo decisório, onde o facilitador faz uma descrição do problema, com a utilização de proposições, e busca uma solução ótima com o auxílio de um modelo matemático (LIMA, 2004).

Genericamente, os métodos da Escola Americana apresentam os seguintes pontos em comum: todas as alternativas são comparáveis; presunção de transitividade na relação de preferência e de indiferença e a construção de uma função síntese, que tem por objetivo agrupar os múltiplos critérios em um único critério (SILVINO, 2008).

Alguns exemplos destes métodos são: UTA, PREFCALC, UTASTAR, MINORA, AHP, MACBETH, MAVT, SMART, EVAMIX e TOPSIS (Gonçalves, 2011). As principais metodologias da Escola Americana são a Análise Hierárquica de Dados (AHP, do inglês Analytic Hierarchy Process) e a Teoria de Utilidade Multiatributo, segundo ACOLET (2008).

2.2.2.1.2 Escola Europeia

Ao distinguirem-se da corrente americana, quanto ao caráter do uso e ao conceito dos métodos multicriteriais, os europeus passaram a denominar essas ferramentas como “Métodos Multicriteriais de Auxílio à Decisão” (MCDA – MultiCriteria Decision- Aid), criando assim a chamada “Escola Europeia”. Esta escola busca com a utilização dos métodos multicriteriais, a “Solução de Melhor Compromisso”, não necessariamente a solução mais racional como a pregada pela “Escola Americana” (ZUFFO *et al.*, 2002).

Segundo, Silvino (2008), os métodos da chamada Escola Europeia caracterizam-se por serem baseados em relações de prevalência. Essa escola é mais flexível, pois não admite como premissa a comparabilidade total das alternativas e não impõe ao decisor uma estruturação hierárquica dos critérios. Devemos aqui destacar que a estrutura de preferência do decisor é uma peça-chave na escolha da metodologia a ser empregada. Além disso, Acolet (2008) cita que, não é calculada nenhuma função matemática para definir o valor das alternativas.

Larrubia (2010) cita alguns métodos da escola europeia: QUALIFLEX, ORESTE, MELCHIOR, PROMETHEE, TACTIC, N-TOMIC, ELICCALC e ELECTRE. Para Acolet (2008) a Escola Europeia se divide basicamente em dois grupos, os métodos da família

ELECTRE (Élimination et Choix Traduisant la Réalité) e o método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations).

2.2.2.1.3 Escola Americana X Escola Europeia

A escola europeia tende o seu foco de estudo para metodologias onde as preferências pessoais dos decisores tenham menor influência na alternativa escolhida; em contrapartida, a escola americana buscaria métodos para melhor explicitar essa preferência, que teria uma grande influência na escolha final. "Uma boa decisão só será possível se as duas influências forem equilibradas" (CEOLIM, 2005).

Mesmo percebidas as divergências, Roy (1996), descreve algumas semelhanças entre o "Multiple Criteria Decision Making" da Escola Americana e o "Multiple Criteria Decision Aid" da Escola Europeia:

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

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

i) na introdução do conceito de ações fragmentadas as quais permitem levar em conta ações potenciais que normalmente não são consideradas como alternativas por não serem mutuamente exclusivas;

ii) na importância atribuída a maneira pela qual uma família de critérios é construída, pois esta pode tornar-se um instrumento de comunicação entre os atores envolvidos no processo decisório;

iii) no interesse devotado às problemáticas (especialmente seleção, escolha e ordenação), relacionando-se essencialmente com a maneira pela qual o processo de decisão deve ser pensado e implementado com o objetivo de estar devidamente ajustado ao processo decisório.

3) A atenção devotada às fontes de imprecisão, incertezas e mal determinação. Os instrumentos geralmente utilizados para avaliar as consequências potenciais de alternativas não apresentam informações precisas. A Escola Americana utiliza funções probabilísticas para lidar com informações imprecisas ou funções de utilidade para manipular dados

ordinários. Os autores consideram que estes conceitos não são apropriados e, portanto preferem a utilização de outros conceitos como limites de indiferença, preferência e rejeição, níveis de aspiração, níveis de concordância e discordância, etc;

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

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

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

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

A Tabela 2.1 apresenta os fundamentos básicos das metodologias MCDM e MCDA no processo decisório:

Tabela 2.1 - Fundamentos básicos das metodologias MCDM e MCDA no processo decisório.

Escola Americana-MCDM	Escola Europeia-MCDA
Racionalismo	Construtivismo
Valorização da objetividade	Valorização da subjetividade
<ul style="list-style-type: none"> - Decisores admitidos como totalmente racionais, com mesmo nível e tipo de conhecimento e de raciocínio lógico, buscando os mesmos objetivos racionais (minimizar custos e maximizar benefícios). - Busca-se a qualificação dos decisores. Vale a experiência. - Admite-se que exista um conjunto bem definido de alternativas viáveis de solução, mutuamente exclusivas. - Admite-se que haja um modelo de preferências bem definido na mente dos decisores, racionalmente estruturado, através de um conjunto de critérios de avaliação. - Admite-se o problema como bem formulado matematicamente, sendo a finalidade encontrar uma solução ótima (no conceito de Pareto), a solução de melhor compromisso. - Os decisores precisam concordar com a solução ótima encontrada. - Os julgamentos são feitos com base nos critérios de avaliação, exclusivamente. - Na comparação das alternativas somente são admitidas a preferência estrita (P) e a indiferença (I). 	<ul style="list-style-type: none"> - O conjunto de ações potenciais não é necessariamente estável. - As ações potenciais não são mutuamente exclusivas, nem necessariamente factíveis (podem ser recomendações). - As preferências dos decisores não são bem definidas. Existem incertezas, crenças parciais, preconceitos, conflitos e contradições. - Os valores numéricos das avaliações e os pesos relativos dos critérios de avaliação são considerados imprecisos, incertos, mal definidos e arbitrários. - É impossível definir se uma decisão é boa ou ruim apenas com base em um modelo matemático. - No processo decisório há influência de fatores organizacionais, culturais e pedagógicos, que contribuem para a qualidade e o sucesso da decisão. - Há a convicção do permanente aprendizado. - O problema é mal definido matematicamente. - O objetivo não é encontrar uma solução ótima, mas sim gerar conhecimento aos decisores. - O decisor único é um mito. Vários atores tomam parte do processo decisório direta ou indiretamente.

Fonte: Adaptado de Matzenauer & Jardim (2001).

2.2.2.2 Conceitos Básicos e Elementos do Processo de Decisão Multicritério

No intuito de evoluir com a modelagem do processo de tomada de decisão, é preciso conhecer os conceitos que estão envolvidos no processo de decisão (CAMPOS, 2011). A seguir estão dispostos alguns conceitos importantes utilizados na análise multicriterial:

2.2.2.2.1 Problema e Tipos de Problemática

Para Campos (2011) durante a estruturação do processo decisório, é primordial compreender o tipo de problemática em que a decisão está inserida. O tipo de problemática

vai direcionar a escolha do método multicritério a ser utilizado. Roy (1996) estabelece quatro tipos de problemáticas:

1) Problemática de Seleção ($P\alpha$): seleciona-se a melhor alternativa ou subconjunto de alternativas, ou seja, procura-se encontrar um subconjunto A' dentro do conjunto A . Os elementos de A são comparados entre si de modo a eliminar o maior número de ações possíveis, e como resultado obtém-se a alternativa ou o subconjunto selecionado;

2) Problemática de Classificação ($P\beta$): sua função é alocar cada ação conforme uma classe ou categoria. As alternativas são classificadas de acordo com as normas estabelecidas e o resultado do processo está na organização ou triagem das ações.

3) Problemática de Hierarquia ($P\gamma$): tem como objetivo ordenar as ações. Para isso, busca-se definir um subconjunto de A conforme uma hierarquia. Em outras palavras consiste em estabelecer uma ordem para cada ação.

4) Problemática de Descrição ($P\delta$): tem por finalidade descrever e relatar as consequências das ações do conjunto A . As ações são organizadas com todas as informações necessárias para que o decisor possa compreender melhor as características de cada ação.

Ainda segundo Campos (2011), vale ressaltar que é possível fazer uso de mais de um tipo de problemática em um problema multicritério. Assim, é preciso ter segurança para o tipo de problema abordado, pois, em alguns casos, é possível obter a problemática $P\gamma$ para resolver problemas do tipo $P\alpha$ e $P\beta$. Neste estudo foi utilizada a problemática $P\gamma$.

2.2.2.2.2 Os Atores do Processo Decisório

O apoio à tomada de decisão é um processo em que modelos são desenvolvidos com o objetivo de trazer uma solução para uma escolha entre alternativas, classificação entre as alternativas, ordenação das alternativas ou ainda descrição das alternativas. Esse processo envolve alguns atores e os modelos criados se fundamentam nas preferências desses (ROY, 1985). Campos (2011) define os atores como indivíduos, entidades ou grupo de pessoas que têm interesse na decisão a ser tomada, pois estão envolvidos direta ou indiretamente pelas consequências da decisão. Nas decisões públicas, os atores compreendem as comunidades ou cidadãos que pagam impostos, o governo, entre outros.

Os agentes no processo de tomada de decisão são o decisor (que assim será referido, mas que também é denominado de Tomador de Decisão) e o analista da decisão (GOMES *et al.*, 2007).

O decisor é o indivíduo (ou grupo de indivíduos) que tem o poder final e a responsabilidade das consequências da sua decisão. Dado seu juízo de valor e pontos de vista, caberá a esse agente tomar a decisão com base nas recomendações apresentadas. É para o decisor que o modelo de apoio à decisão é desenhado (ACOLET, 2008). Portanto, segundo Campos (2011), sua função consiste em avaliar as alternativas do problema, de acordo com sua relação de preferência. No entanto, segundo Roy (1985), apoiar o decisor não quer dizer que somente suas preferências, opiniões e estratégias devem ser consideradas, em detrimento dos outros agentes do processo de decisão.

Durante um processo de decisão, o decisor pode assumir o papel de desenvolver a atividade de apoio à decisão. No entanto, o decisor não tem um olhar crítico sobre seus problemas e preferências. Como exemplificado por Roy (1985) é como se um médico cuidasse da sua própria saúde. Por isso, normalmente entra um segundo ator, o "homem de estudo" (*homme d'étude*) ou o analista. Seu papel é auxiliar na estruturação do problema e identificação dos fatores do meio ambiente que influenciam na sua evolução, solução e configuração (ALENCAR, 2003).

Por último, pode existir um terceiro ator no processo decisório. Esse é o solicitante (ou *demandeur*, em francês) que pode encomendar um estudo no caso de não haver nenhum contato possível entre o decisor e o homem de estudo (ACOLET, 2008). Seu papel é esclarecer e modelar o processo de avaliação e/ou negociação conducente à tomada de decisão, mantendo sempre uma postura neutra em relação ao processo decisório (ALENCAR, 2003).

2.2.2.2.3 As Alternativas

A definição do conjunto de alternativas ou ações não depende apenas do problema a solucionar e dos decisores, mas se relaciona fortemente com todos os elementos que influenciam o processo de tomada de decisão: definição dos critérios, modelagem das preferências, estado das variáveis do problema e a escolha do método de decisão a utilizar. Além disso, muitas vezes, em face da dificuldade de definição *a priori*, o conjunto de ações é definido progressivamente ao longo do processo (VINCKE, 1992).

Uma ação, ou alternativa, constitui uma das possibilidades de escolha do agente de decisão, identificada no início, ou mesmo no decorrer de um processo decisório, podendo vir a tornar-se uma solução para o problema em estudo (ALENCAR, 2003). Para Campos (2011)

as alternativas ou ações potenciais podem ser denominadas como o conjunto de opções possíveis em que o decisor irá fazer a sua escolha.

Ainda de acordo com Campos (2011) deve-se atentar para a quantidade de alternativas do problema. Grande número de alternativas resulta no aumento de complexidade da decisão, portanto, com maiores compensações que o decisor precisa fazer. Cruz (2007) considera as alternativas como elemento fundamental do processo.

Segundo Acolet (2008) cada alternativa introduzida em um modelo deve ter algum sentido, alguma contribuição para o modelo. Uma alternativa não precisa ser factível ou viável para ser considerada alternativa, pois o conjunto de alternativas deve ser exaustivamente composto por todas as alternativas.

Assim, as alternativas podem ser diferenciadas das seguintes formas, de acordo com ROY (1985):

- **Alternativas reais:** são aquelas resultantes de um projeto existente, que são suscetíveis a serem postas em ação;

- **Alternativas fictícias:** são oriundas de um projeto idealizado, construído na imaginação.

- **Alternativa realista:** é quando ela é executável;

- **Alternativa irrealista:** é quando ela não pode ser executada e tem objetivos incompatíveis.

Quando uma alternativa real ou fictícia é provisoriamente julgada de realista por pelos menos um dos atores do processo, decisor ou analista, ela passa a ser uma alternativa potencial. O conjunto das alternativas potenciais é normalmente representado por um conjunto A (ACOLET, 2008).

Alencar (2003) define tal conjunto da seguinte forma:

- a) Por uma lista dos seus elementos quando é finito e suficientemente pequeno para que possa ser enumerado;

- b) Por propriedades que o caracterizem quando é infinito, ou muito grande para ser enumerado.

2.2.2.2.4 Os Critérios

Os atributos são os caminhos que norteiam as escolhas de alternativas, dadas as preferências do decisor. Essas preferências vão gerar um conjunto de regras que possibilita

escolher uma alternativa entre um par destas. O conjunto de regras assim formado são os critérios da decisão (ACOLET, 2008).

Segundo Bouyssou (1990), independentemente de ser utilizado um método monocritério ou multicritério, o sucesso da tomada de decisão depende de como o critério ou a família de critérios foram construídos. Roy (1985) define critério como uma ferramenta que permite comparar alternativas de acordo com um particular ponto de vista ou ainda eixo de significância.

Em um método multicritério, um analista usa diversos critérios com base em diferentes pontos de vista. Esses pontos de vista representam justamente a preferência dos atores da decisão. A comparação de cada um desses critérios é uma preferência parcial desses atores. Resumindo, um critério é uma ferramenta que permite “somar” as performances das alternativas em pontos de vista para estabelecer uma preferência parcial, naquele determinado critério (ACOLET, 2008).

a) Os Tipos de Critérios

Ainda de acordo com Acolet (2008) os critérios podem ser quantitativos ou qualitativos. Eles são quantitativos quando podem ser atribuídos a escalas numéricas bem definidas como lucratividade, preço, e outros. Nos critérios qualitativos não existem valores para medir o desempenho dos critérios. No caso dos critérios qualitativos, geralmente utilizam-se escalas em que se atribuem valores aos graus desses critérios, por exemplo, algo bom seria 1, razoável atribui-se 2 e ruim 3.

b) Família de Critérios

Uma família de critérios é o conjunto de critérios utilizados em uma determinada situação de decisão, que deverá permitir modelar preferências em um nível global (CALDAS & AZEVEDO, 2009). Roy e Bouyssou (1993) afirmam que três condições devem ser satisfeitas para a definição de uma família coerente de critérios: exaustividade, coerência entre preferências multicritério ou condição de coesão, e não redundância:

- **Exaustividade:** impõe a necessidade de descrever o problema levando em conta todos os aspectos relevantes (CALDAS & AZEVEDO, 2009). Segundo Roy e Bouyssou (1993), o axioma da exaustividade implica em considerar como indiferentes duas alternativas que apresentarem desempenhos iguais em todos os critérios.

• **Coesão:** obriga à correta análise de quais são os critérios de maximização e quais os de minimização. Supõe que se a alternativa A1 apresenta desempenhos iguais aos da alternativa A2, excetuando-se o desempenho em um critério j em que A1 é melhor que A2, então A1 não poderá ser considerada pior que a alternativa A2, para todos os critérios (CALDAS & AZEVEDO, 2009).

• **Não Redundância:** obriga a excluir critérios que estejam avaliando características já avaliadas por outro critério. Requer que não se possa retirar nenhum critério da família de critérios sem afetar as duas primeiras condições (CALDAS & AZEVEDO, 2009).

c) Os Pesos dos Critérios

Em alguns métodos multicritério, é comum que os agentes considerem alguns critérios mais importantes que outros e por isso são atribuídos pesos a esses critérios (GOMES *et al.*, 2006). Os pesos são uma forma de medir quantitativamente essa ordem de preferência relativa dos critérios, do ponto de vista do decisor. Ele é usualmente representado pela letra w . A ponderação do critério na análise multicriterial é dada pelo seu peso (FRANCISCO *et al.*, 2008). Segundo Campos (2011) a incerteza no que diz respeito à ponderação dos critérios está ligada à diversidade de informações do problema e variadas técnicas de agregação de preferências.

Campos (2011) afirma que normalmente pode-se simplesmente perguntar ao decisor qual o peso que atribuirá a cada um dos critérios que representarão a importância relativa dos mesmos. Sendo assim, é possível concluir que os critérios são utilizados como parâmetros de avaliação para o conjunto de alternativas.

2.2.2.2.5 Função de Preferência

A função de preferência, obtida através da análise multicritério, tem por objetivo agrupar os múltiplos critérios, e auxiliar o decisor na seleção das alternativas. Funções de preferência são representações matemáticas de julgamentos humanos, podendo usar gráficos e/ou escalas numéricas (pode-se usar inicialmente uma escala verbal e posteriormente transformá-la em numérica) (GOMES *et al.*, 2002).

2.2.2.2.6 Matriz de Decisão

Ao avaliar todas as alternativas de um conjunto A_i segundo os critérios g_j , pode-se obter uma matriz de decisão com todos os resultados a_{ij} dessas avaliações. As linhas dessa matriz representam o desempenho de uma alternativa a_i nos n critérios considerados no modelo. As colunas representam o resultado de todas as alternativas em um determinado critério (ACOLET, 2008).

A matriz de avaliação consiste no resultado final da estruturação do problema multicritério e nela é possível identificar de forma simples os desempenhos das alternativas para cada critério. Sua composição permite a evolução da metodologia multicritério conforme as características do método escolhido (CAMPOS, 2011).

2.2.2.2.7 A Escolha do Método Multicriterial

Existe um grande número de métodos multicriteriais para auxílio à tomada de decisão, que representam diferentes formas de aproximação para a tomada de decisão. (FRANCISCO *et al.* 2008). A escolha do método a ser empregado depende do tipo de problema em análise, do contexto estudado, dos atores envolvidos, da estrutura de preferência e do tipo de resposta que se deseja alcançar, ou seja, é preciso identificar a problemática de referência (ALENCAR, 2003).

Nesse estudo optou-se por trabalhar com o método baseado em relações não hierárquicas, PROMETHEE II. Sua escolha deve-se a facilidade de implementação computacional, a obtenção de uma ordenação das alternativas, segundo suas preferências e a grande representatividade comparativa de suas funções de preferência.

2.2.2.2.8 Análise de Sensibilidade e Robustez

Segundo Gomes *et al.* (2006) deve-se realizar uma análise de sensibilidade após ser aplicado um método de apoio multicritério para verificar como as variações introduzidas nos parâmetros do método influenciaram os resultados obtidos. Para Santos *et al.* (2011) essa análise permite também avaliar a estabilidade e robustez do método multicriterial utilizado no problema.

A análise de estabilidade verifica a velocidade com a qual uma solução se degrada a um nível pré-determinado. Um problema multicritério pode possuir uma estabilidade fraca

quando, feita a análise de sensibilidade, a melhor solução permanece dentro do conjunto de soluções não dominadas (uma alternativa a é não-dominada quando, dentro do conjunto A das alternativas potenciais, não há nenhuma alternativa b que supere a alternativa a , em todas as pré-ordens dos critérios). Um problema terá estabilidade forte quando o conjunto de soluções não dominadas não se altera (GOMES *et al.*, 2006). A análise de robustez objetiva verificar, após a análise de sensibilidade, se a pré-ordem encontrada no conjunto de soluções não dominadas se altera (ACOLET, 2008).

2.2.3 Aplicações dos Métodos de Análise Multicritério

Segundo Santos (2009), no Brasil e no exterior, estudos desenvolvidos na área de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos têm contemplado vários aspectos no auxílio à tomada de decisão através de técnicas de análise multicritério. A seguir são apresentados alguns trabalhos realizados com o uso destas técnicas.

Zuffo (2011) propôs a incorporação da aritmética fuzzy em dois métodos multicritérios muito utilizados em planejamento e gestão de recursos hídricos, os métodos “Compromise Programming” (CP) e “Cooperative Game Theory” (CGT), que deram origem ao Fuzzy-CP e ao Fuzzy-CGT. Esses métodos adaptados possibilitaram a adoção de critérios abstratos ou com melhor representação de seus possíveis intervalos de variação, contribuindo para uma melhor interpretação do problema, como também do reconhecimento de sua fragilidade, mostrando-se viáveis para resolução de problemas dessa natureza.

Vilas Boas (2006) realizou um estudo de caso, no reservatório ribeirão João Leite, em Goiás. Onde, com a utilização do método Analytic Hierarchy Process (AHP), foi desenvolvido um modelo multicritério de análise de decisão para auxiliar os tomadores de decisão nas questões inerentes ao uso multipropósito da água. Nele foram exploradas as preocupações dos principais atores envolvidos e efetuou-se a avaliação das opções sob diferentes perspectivas. O modelo desenvolvido proveu uma lista ordenada das alternativas de uso múltiplo possíveis de serem implantadas no reservatório. A alternativa de geração de energia hidrelétrica obteve a maior ordem de prioridade.

Vetorazzi (2006) avaliou o emprego da Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, por meio da comparação entre os métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada, na geração de mapas de áreas prioritárias à restauração florestal, na bacia do Rio Corumbataí, SP, visando à conservação de recursos hídricos. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que a Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, é

adequada ao mapeamento de áreas prioritárias à restauração florestal, visando à conservação de recursos hídricos, e que o método da Média Ponderada Ordenada é o mais adequado à priorização de áreas, dada a sua flexibilidade, ao acomodar o conceito de compensação entre fatores. Essa característica permite um mapeamento mais detalhado das áreas prioritárias, que são menores e em maior número que no outro método.

Silvino *et al.* (2013) apresentaram e analisaram três métodos de transformação de um sistema hierárquico de preferências em não hierárquico e três métodos para análise multidecisores. Estas metodologias foram aplicadas a dois estudos: um fictício com quatro usuários, nove critérios estruturados hierarquicamente e sete decisores, para melhor se analisar o desempenho dos métodos, e outro visando o estudo de potenciais pedidos de outorga de usuários cadastrados no trecho 2 do sistema Curema-Aça inserido em território paraibano, através da utilização do modelo multicritério de apoio à decisão VIP Analysis. Os resultados mostraram que os métodos hierárquicos apresentaram resultados diferentes e que os métodos multidecisores geraram resultados iguais. Dada à característica aditiva do VIP Analysis, a análise hierárquica mais indicada seria aquela em que os pesos dos subcritérios são obtidos pela multiplicação hierárquica de seus pesos atribuídos pelos decisores.

Silva (2012) construiu um modelo de avaliação multicritério da vulnerabilidade de barragens, permitindo definir um Índice de Remoção de Barragens (IREB). O modelo foi construído seguindo a metodologia MACBETH e utilizando o sistema de apoio à decisão M-MACBETH na interação com vários especialistas. Para testar o modelo, foi utilizada informações referentes às barragens Ubaldinho, Acarape do Meio e Jaburú I, localizadas no Estado do Ceará. Os resultados obtidos foram concordantes com os esperados e as análises efetuadas comprovaram a potencialidade do modelo.

Santos *et al.* (2010) visou buscar, estruturar, processar e analisar informações para o auxílio à tomada de decisão quanto as melhores escolhas entre possíveis ações de intervenção hidráulicas, sob as óticas multiobjetivo e 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. O método PROMETHEE II foi utilizado no processo de seleção das melhores alternativas de intervenções hidráulicas na bacia, tendo em vista diferentes possibilidades de preferências. Os resultados fornecidos pelo modelo de otimização multiobjetivo e pelo método de análise multicriterial poderão dar subsídios às questões operacionais e de implantação de obras hidráulicas para os tomadores de decisão

através de informações sobre o comportamento do sistema e a ponderação de critérios de julgamento.

Brans e Vincke (1985) aplicaram o método PROMETHEE e do plano GAIA para decidir onde deveria 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.

Pompemayer (2003) formulou um procedimento multicritério como instrumento de auxílio à tomada de decisão na gestão de recursos hídricos e a simulação do seu uso em uma bacia hidrográfica. Com base num diagnóstico da área de estudo e em uma estrutura conceitual de indicadores denominada *Pressão-Estado-Resposta*, foram selecionados vinte indicadores de sustentabilidade. A proposta de indicadores selecionada e o método multicritério utilizado (ELECTRE III) demonstraram serem bastante adequados ao caso estudado. Os resultados obtidos indicam que o grau de preferência por determinada intervenção varia significativamente entre bacias e pode ser uma informação importante na implementação de um dado plano de ação ou programa de investimento.

Matzenauer (2003) apresenta um Método Multicritério em Apoio à Decisão para o planejamento de recursos hídricos de bacias hidrográficas, que além de incorporar vários critérios na avaliação de alternativas, adotar uma abordagem construtivista, propicia a participação de todos os atores envolvidos no processo de tomada de decisão. Para testar a aplicabilidade prática do método proposto foi escolhida a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, localizada no estado do Rio Grande do Sul, sendo construído um Modelo Multicritério de Avaliação de Alternativas para o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Os resultados do trabalho demonstraram a robustez da proposta que, ao possibilitar a geração e avaliação de alternativas para o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, a partir de diversos critérios, e levando em conta o sistema de valores dos decisores, se constituiu em um diferencial capaz de conferir maior legitimidade ao processo de tomada de decisões sobre o planejamento de recursos hídricos de bacias hidrográficas.

De acordo com Santos (2009) vários outros estudos que contemplam o uso da técnica de análise multicriterial no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos podem ser encontrados na literatura, o que demonstra a crescente preocupação por parte dos pesquisadores e a grande relevância dada ao processo.

CAPÍTULO III

A REGIÃO E O SISTEMA HÍDRICO EM ESTUDO

3.1 A REGIÃO

Nas regiões semiáridas, enfoque desse estudo, a escassez de água é de grande interesse. Nessas áreas, a precipitação é tipicamente insuficiente e distribuída irregularmente intra e interanualmente, e a evaporação é alta em relação à precipitação, acompanhada de limitações nas possibilidades de extração de água subterrâneas, devido tanto à geologia (afloramento do embasamento cristalino), quanto à salubridade dos solos que é transmitida à água.

As características climáticas e geológicas do semiárido nordestino condicionam aos cursos d'água da região o caráter intermitente, apresentando altas vazões durante o período chuvoso que dura, em média, de três a quatro meses, e vazões nulas durante o período de estiagem. Para grande parte do Nordeste brasileiro há a expectativa da chuva entre os meses de janeiro e maio e a certeza da seca no segundo semestre do ano (LEÃO, 2008).

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba – PERH (2004) a região semiárida paraibana ocupa uma área de aproximadamente 48.800 km², equivalentes a 86% da superfície estadual (56.439 km²), onde vivem cerca de dois milhões de habitantes. A situação socioeconômica dessa região é crítica, apresentando indicadores bastante deficientes, destacando-se a pobreza rural, índices de desemprego elevados, agropecuária pouco desenvolvida e fortemente dependente das chuvas, além de precárias condições de abastecimento de água para a população. O fenômeno da estiagem, que acontece de forma recorrente, concorre para a manutenção do estágio de subdesenvolvimento que vem afetando a região ao longo dos anos.

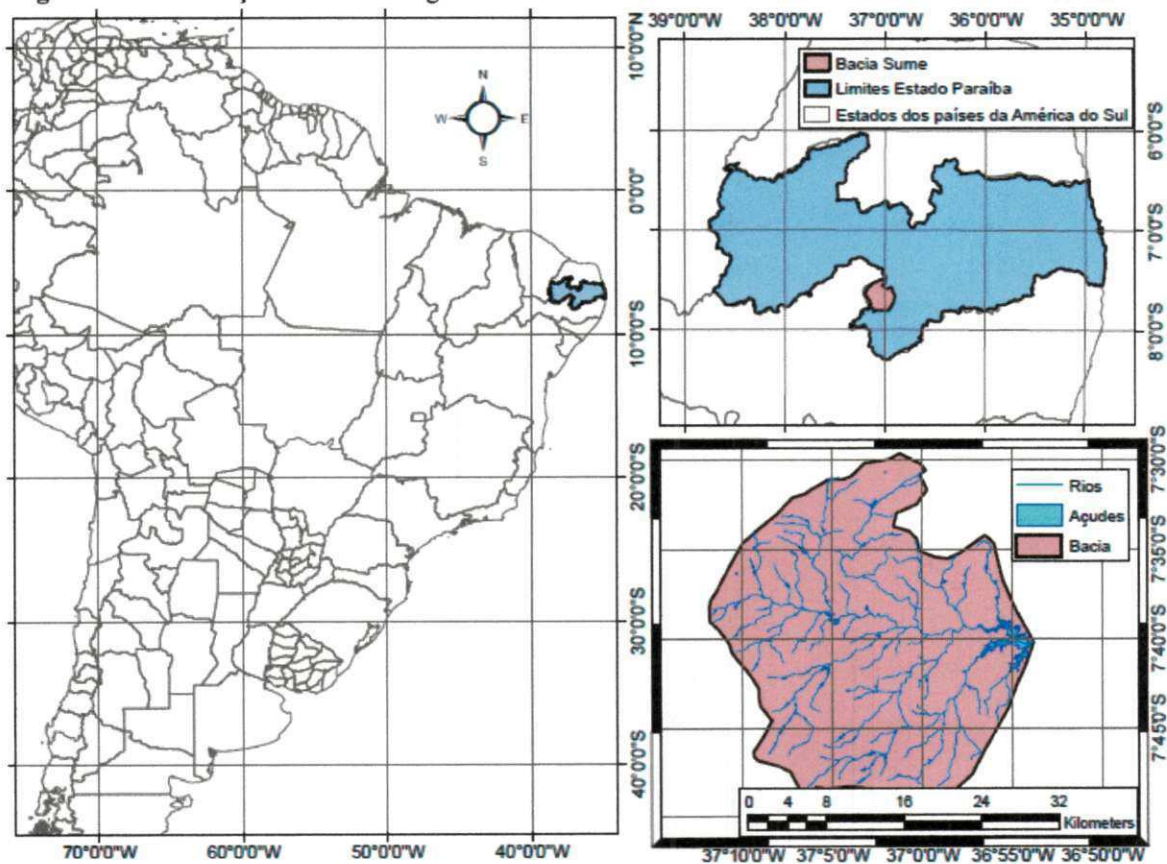
Ainda de acordo com o PERH (2004), no Estado da Paraíba, foram contabilizados a partir de imagens de satélite do ano 2000, aproximadamente 8.000 açudes na região semiárida, dos quais 7.600 foram considerados como pequenos. Estimou-se que, em média, ficam armazenados nesses açudes, após o período chuvoso, 2 bilhões e 267 milhões de m³, correspondendo a 60% da quantidade de água armazenada pelos médios e grandes reservatórios.

3.1.1 Localização

Segundo Barbosa e Santos (1998) a região de Sumé engloba a bacia hidrográfica do alto rio Sucurú, que representa uma parcela significativa da bacia hidrográfica do rio Paraíba. Esta região tem aproximadamente 981,2 km englobando a microrregião homogênea dos Cariris Velhos.

A bacia hidrográfica do açude de Sumé, apresentada na Figura 3.1, está localizada na região do Sertão do Cariri paraibano e encontra-se completamente inserida nas cidades de Sumé, Monteiro, Prata, Ouro Velho e Amparo, sendo que sua maior parte está localizada na cidade de Sumé (SILANS *et al.*, 2009). Esta bacia está situada a aproximadamente 250 km da Costa Atlântica e encontra-se ligeiramente a oeste do centro da depressão pluviométrica gerada pelos relevos da chapada da Borborema que intercepta as massas de ar oceânicas e provoca, por efeito de interceptação ou de *foehn*, uma zona cuja pluviometria média é menor que 400 mm, centrada em Cabaceiras, que foi chamada durante muito tempo "polo da seca do Brasil" (CADIER, 1994).

Figura 3.1 - Localização da bacia hidrográfica de Sumé.



Fonte: SILVA *et al.* (2009).

3.1.2 Climatologia

Costa (2011) afirma que a bacia hidrográfica do açude de Sumé está situada em uma zona onde predomina de maneira quase absoluta, o clima semiárido (BSh, segundo a classificação de Köppen), caracterizado pela precipitação anual abaixo de 600 mm, temperaturas elevadas, forte evaporação e, principalmente, pela alternância de duas estações nitidamente delimitadas: a estação das chuvas, também chamada de “inverno” e a estação da seca, ou “verão”.

Como em toda a zona norte do Serião, a estação das chuvas desta região centra-se em março, começando em geral entre janeiro e março, terminando em maio. A temperatura média anual é de 24°C (máxima em novembro-dezembro e mínima em julho-agosto). A evaporação anual é de 2800 mm em Tanque Classe A (CADIER, 1994).

3.1.3 Geologia

Para Barros (2010) a geologia, que corresponde ao estudo das rochas superficiais, é importante para os trabalhos de mapeamento e classificação dos solos. Estudos realizados na área outrora demonstram que a faixa de terra da região em estudo é formada por rochas do tipo Pré-Cambriano Indiviso e sedimentos recentes do período Quaternário.

O Pré-Cambriano Indiviso é representado pelas rochas das formações Granitóides e do Complexo Gnáissico-Migmatítico. Enquanto, as rochas Granitóides estão representadas por granitos e os sedimentos aluviais do Quaternário são de idade holocênica possuindo uma composição granulométrica variada.

3.1.4 Pedologia

Segundo Silva (2006) os tipos de solo predominantes na área do Perímetro Irrigados de Sumé são o Aluvial Eutrófico e o Bruno não Cálcico havendo, em alguns pontos, afloramentos rochosos, típicos de solos Litólicos.

Os solos Aluviais Eutróficos ocorrem em áreas de várzeas localizadas nas margens dos cursos de água e, com intensidade maior, no Rio Sucuru, formados por sedimentos aluviais não consolidados, sendo de grande potencialidade agrícola em virtude de apresentarem fertilidade natural alta. Os solos aluviais são muito importantes para manterem a área produzindo na maior parte do ano. Por se localizarem em locais baixos, normalmente, são

cultivados com gramíneas para alimentação animal e culturas de subsistência embora exista na área alguma fruteira.

Os solos Bruno não Cálcicos também encontrados na região são moderadamente rasos e específicos de regiões semiáridas, caracterizando-se por seus arbustos espinhosos, plantas herbáceas e cactos. A maior limitação desses solos para a agricultura reside na pequena espessura do perfil e no excesso de pedras na superfície, não havendo limitações quanto à fertilidade, sendo os solos bastante ricos.

Nas áreas mais acidentadas predominam os solos Litólicos Eutróficos, bastante rasos e pouco utilizados para a exploração agrícola, sendo mais apropriados para a pecuária com caprinos e/ou ovinos; trata-se de solos extremamente secos, com pedregosidade e rochividade ainda maiores que nas áreas de solos Bruno não Cálcicos; Outra característica marcante desses solos é a existência de grande quantidade de pedras de porte elevado e de afloramentos rochosos de tamanho considerável; considera-se ainda que o fato de ocorrer erosão é bem marcante neste tipo de solo, consequência da maior declividade do solo e dos desmatamentos ocorridos na área, por esse motivo é essencial que essas áreas sejam preservadas de forma permanente, e conservada a sua cobertura vegetal.

3.1.5 Relevo e Vegetação

O relevo da região onde se localiza o sistema hídrico estudado é marcado por uma topografia plana, com ligeiros desníveis que não vão além de 3 %.

A vegetação nativa da região é a caatinga que se caracteriza por apresentar pouquíssimas árvores e arbustos esparsos que não proporcionam a formação de uma cobertura (BARROS, 2010). Entretanto, Silva *et al.* (2009) afirma que, atualmente parte considerável da caatinga está sendo substituída por pastagens, plantações de tomates e de palmas (cactos destinados à alimentação do rebanho).

3.1.6 Aspectos Econômicos

Barbosa (2008) descreve a economia de Sumé essencialmente agrícola, com plantio de milho, feijão, tomate, algodão e sisal. O feijão e o milho sempre são plantados em consórcio entre eles e com forrageiras (palma, capim, etc.).

A pecuária é basicamente extensiva, destacando-se o rebanho caprino, seguido do bovino e em terceiro lugar o ovino e o suíno.

O desenvolvimento de atividades para suporte à pecuária tais como, o reflorestamento com forrageiras e perfuração de poços para água, tem sido baixo na região, com exceção da construção de açudes.

O segmento industrial praticamente não existe, destacando-se apenas algumas agroindústrias para o beneficiamento do tomate, goiaba e banana, que praticamente encontram-se paradas, devido à paralização das atividades do perímetro irrigado. O açude de Sumé está praticamente seco há 6 anos, o que tem comprometido a produção agrícola da região, que tem como suporte o Perímetro Irrigado de Sumé.

3.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA EM ESTUDO: A BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE DE SUMÉ

A bacia hidrográfica do açude Sumé pode acumular em seus reservatórios aproximadamente 78.000.000 m³, sendo 56.500.000 m³ o volume acumulado pelos açudes de Sumé, São Paulo, Prata II e Ouro Velho que são monitorados pela AESA, logo 30% do volume total de água reservada em açudes na bacia está retida em pequenos reservatórios. (SANTOS *et al.*, 2009).

Barros (2010) menciona que os pequenos açudes os quais formam a Bacia Hidrográfica do Açude Público de Sumé são reservatórios construídos em propriedades particulares e que não apresentam monitoramento hidrometeorológico. Ocorre o monitoramento em apenas 4 dos açudes que integram esta bacia, como mencionado, sendo eles de maior porte e apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Açudes da bacia de Sumé monitorados pela AESA.

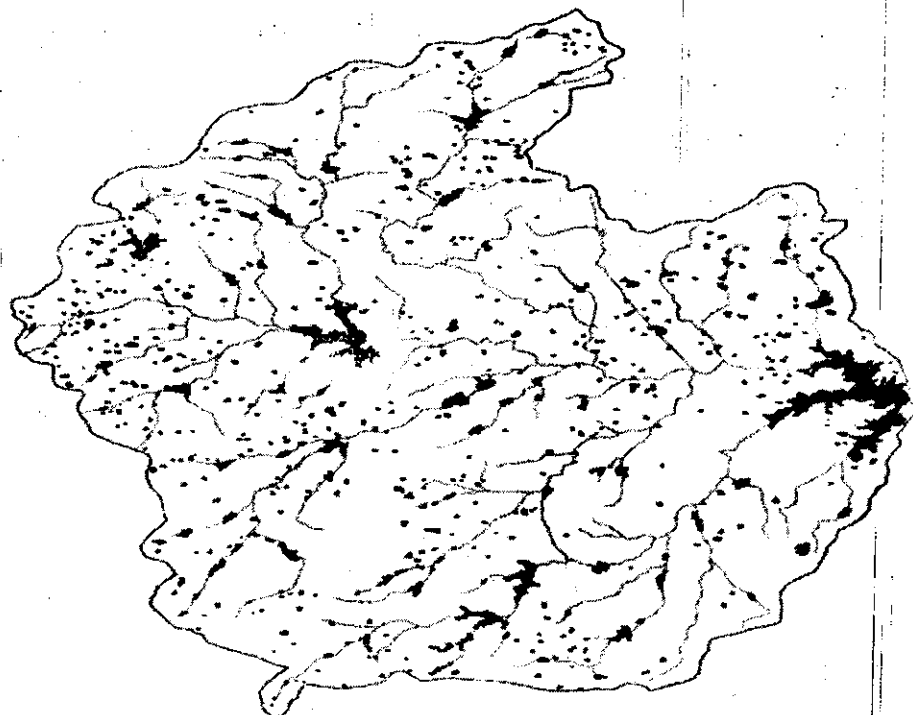
MUNICÍPIO	AÇUDE	CAPACIDADE MÁXIMA (m ³)	VOLUME ATUAL (m ³)
Sumé	Sumé	44.864.100	44.688.398
Prata	São Paulo	8.455.500	8.455.500
Prata	Prata II	1.308.433	1.290.176
Ouro Velho	Ouro Velho	1.675.800	1.675.800

Fonte: BARROS (2010).

Na bacia em estudo foram construídos no período de 1984 a 1990, 75 reservatórios de pequeno porte, o açude público de médio porte Cinco Vacas e o açude particular de grande porte São Paulo, totalizando a construção de 77 novos açudes num período de seis anos. A

taxa de crescimento do número de açudes do ano de 2000 para 2008 foi algo da ordem de duas a três vezes. Dentre os açudes contabilizados no Estado da Paraíba em 2002, existe uma quantidade levantada nesta bacia de um pouco mais de duzentos, porém, em levantamento atual realizado através de imagens de satélite LandSAT 5 foram encontrados nesta mesma região 631 espelhos de água distribuídos em 768 km², apresentados na Figura 3.2, indicando uma densidade de açude em torno de 1 açude/km². (SILVA *et al.*, 2009). De acordo com Molle e Cadier (1992) esta densidade já ultrapassa o limite considerado aceitável de 1 açude por 1,5 km². Os açudes da bacia são classificados como sendo do tipo intermitente e perene (Silans *et al.*, 2009). Desses 631 açudes distribuídos em 768 km², SANTOS *et al.* (2009) ressalta que 620 açudes, ou seja, 98% dos reservatórios possuem área inferior a 20 ha.

Figura 3.2 - Rede de drenagem de Sumé e os 624 açudes atualizados pela imagem do satélite LANDSAT 5 gerada em 02/05/2008.



Fonte: SILANS *et al.* (2009).

Segundo Silans *et al.* (2009) o açude Sumé tem capacidade de 45.000.000 m³ e atualmente apresenta diversos problemas que vão desde a geração de enchentes nas regiões mais baixas ao redor do açude, provocadas pela sua sangria junto com cheias nos riachos próximos, até secas em períodos críticos como em 1998 quando o açude chegou a secar. Atualmente os recursos hídricos da região são afetados pela forte presença de açudes a montante do açude Sumé e como observado em visita de reconhecimento em julho de 2008 a

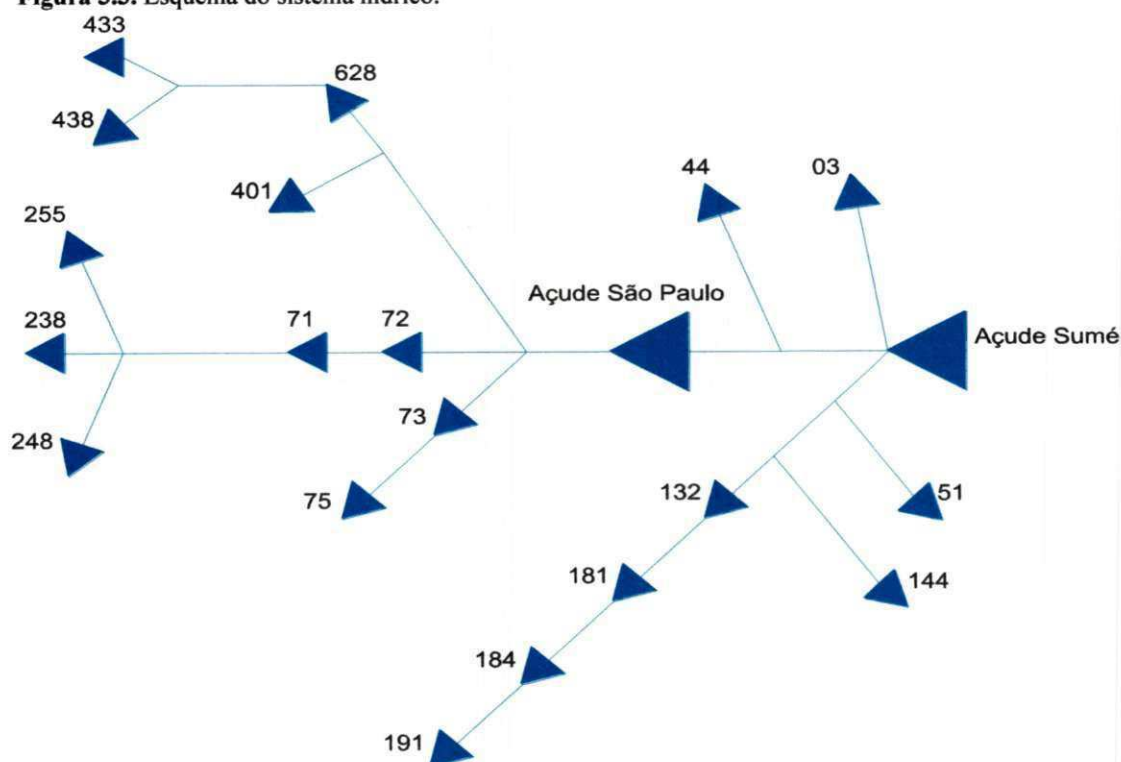
bacia também apresenta problemas socioambientais como lançamentos de lixos a montante deste reservatório.

Dos 631 pequenos açudes integrantes da Bacia Hidrográfica de Sumé, exclusivamente 42 foram objeto de estudo realizado pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB, em 2008, por meio do projeto “Metodologias para definição da disponibilidade hídrica em pequenos açudes e pequenas bacias hidrográficas da região Semiárida do Brasil” (DISPAB-SA), financiado pelo MCT/FINEP/CT-HIDRO (edital IGRH 01/2007), e são apresentados na Tabela 3.2.

Dos 42 açudes escolhidos para o levantamento de campo do projeto DISPAB-AS, somente 20 foram selecionados para o presente estudo por apresentarem capacidade volumétrica variando entre 100.000 m³ e 1.000.000 m³ classificando-se como pequenos açudes, segundo a definição de Molle e Cadier (1992). Estes açudes foram realçados na Tabela 3.2.

Na Figura 3.3 é possível observar a representação do sistema formado pelos 20 pequenos açudes, todos apresentando capacidade volumétrica variando entre 100.000 m³ e 1.000.000 m³, localizados a montante do açude público de Sumé.

Figura 3.3. Esquema do sistema hídrico.



Fonte: COSTA (2011).

Tabela 3.2 - Açudes da bacia de Sumé objeto de estudo pelo projeto DISPAB-SA.

CÓDIGO	NOME DO AÇUDE	MUNICÍPIO	CAPACIDADE (m ³) (ano de 2009)	CAPACIDADE MÁXIMA (m ³)
58	TuTe	Sumé	92.589,30	133.520,93
3	Leonardo	Sumé	322.379,90	479.858,72
55	Zé Gordo	Sumé	29.252,60	46.367,63
62	Vianês	Sumé	13.664,70	21.251,85
63	Riacho da Roça II	Sumé	87.993,00	135.408,28
60	Macambira	Sumé	84.898,90	111.457,14
61	Macambira	Sumé	25.279,70	37.673,39
53	Evaldo	Sumé	40.495,30	54.639,20
64	Riacho da Roça I	Sumé	69.912,90	86.758,30
71	Ministro Aposentado	Prata	535.917,40	636.465,96
72	Raminho	Prata	273.196,90	434.815,48
73	Amparinho	Prata	143.063,50	197.466,38
74	Raminho II	Prata	69.897,50	85.871,67
44	Lindalva	Sumé	104.206,90	138.570,50
75	Paulo Leite	Prata	100.086,40	137.338,32
135	Chique-Chique	Sumé	44.230,40	60.382,09
184	Jatobá	Monteiro	415.975,70	610.511,08
185	Dona Severina	Monteiro	28.600,30	33.527,17
144	Juraci	Monteiro	190.670,00	251.329,71
136	Geraldo	Sumé	89.097,50	135.823,24
51	Marmeleiro	Sumé	246.276,40	291.428,30
153	Br 412	Monteiro	38.949,10	59.440,81
181	Uruçu	Monteiro	1.044.782,10	1.656.129,28
132		Sumé	169.876,40	206.062,89
190		Monteiro	30.796,70	38.980,38
630	Açude Novo	Monteiro	12.957,70	16.857,52
191	Salgadinho	Monteiro	101.596,40	125.049,71
192		Monteiro	76.616,10	94.681,89
629	Zezinho	Monteiro	88.084,20	121.978,79
248	Matarina	Prata	285.145,20	367.142,12
249		Prata	30.785,40	41.049,80
255	Mujiqui	Prata	153.099,20	174.811,71
238	Pé da Serra	Prata	366.862,40	555.926,57
277	São Francisco	Prata	121.315,90	151.682,58
429	Borboleta	Ouro Velho	70.273,70	99.118,73
402	Mamoeiro	Ouro Velho	52.146,90	84.776,34
438	Quarteirão	Ouro Velho	221.440,90	291.406,68
401	Bethânia	Ouro Velho	125.206,40	171.833,49
432	Borboleta	Ouro Velho	30.096,30	80.911,93
631	438 Novo	Ouro Velho	11.393,00	16.894,47
433	Dom Pedro II	Ouro Velho	107.002,10	148.503,27
628	Braço do São Paulo	Ouro Velho	209.186,90	287.950,18

Fonte: Adaptado de COSTA (2011).

CAPÍTULO IV

MÉTODO MULTICRITERIAL E MULTIDECISOR APLICADO NESSE ESTUDO

4.1 O MÉTODO PROMETHEE - Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation

4.1.1 Generalidades do Método

Os métodos da família PROMETHEE (Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation), que objetivam construir relações de sobreclassificação de valores em problemas de tomada de decisão, são ferramentas de suporte à decisão que fazem parte da escola europeia. Este método procura estabelecer uma estrutura de preferência entre as alternativas e os critérios que estão sendo avaliados (CARVALHO *et al.*, 2011). Segundo Ceolim (2005) a referência pioneira do Método Promethee é Jean Pierre Brans *et al* (1984). Ainda de acordo com Carvalho *et al.* (2011) as principais características deste método são simplicidade, clareza e estabilidade.

A escolha de um dos métodos da família PROMETHEE para ser aplicado nesse estudo foi motivada pelo fato destes métodos se destacarem dos demais por envolver conceitos e parâmetros de fácil compreensão e assimilação pelos decisores. Outra questão que foi levada em consideração para a escolha desse método conforme Carvalho e Curi (2012) está relacionada à sua abordagem não compensatória, a qual favorece alternativas bem balanceadas, e segundo Moraes e Almeida (2006), que objetiva uma ordenação completa das alternativas, evitando qualquer incomparabilidade.

Santos (2009) considera que 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) Ordenação das alternativas.

No processo de análise do método, o objetivo se decompõe em critérios e as comparações entre as alternativas são feitas no último nível de decomposição e aos pares, pelo

estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores (ARAÚJO & ALMEIDA, 2009).

O PROMETHEE é um método não compensatório que requer informações intercritério correspondente a relativa importância entre os vários objetivos, ou seja, pesos dos critérios (MORAIS & ALMEIDA, 2006). As informações entre critérios são estabelecidas por uma estrutura de pesos w , onde esses pesos são positivos e o maior peso (dado um critério particular) representa a maior importância deste sobre os demais, ocorrendo a somatória dos pesos igual a um (CEOLIM, 2005).

4.1.2 Funções de Preferência do PROMETHEE

O decisor deve estabelecer para cada critério um peso p_j que aumenta com a importância do critério. O PROMETHEE apresenta seis formas diferentes de o decisor representar suas preferências, não necessariamente usando a mesma forma para todos os critérios, são critérios gerais, usados para identificar a intensidade da preferência (ALMEIDA & COSTA, 2002).

Ainda de acordo com Almeida e Costa (2002), à medida que a preferência do decisor aumenta com a diferença entre o desempenho das alternativas para cada critério, ele pode definir uma função $F(a, b)$ que assume valores entre 0 e 1. Santos (2009) ressalta que o valor 1 indica a preferência absoluta de uma alternativa sobre a outra com relação a um dado critério. Para cada uma das funções de preferência do método PROMETHEE são fixados, no máximo, dois parâmetros que representam para cada tipo de função o seguinte (ALENCAR, 2003):

- q representa um limite de indiferença, o maior valor para alternativa (a) sobre alternativa (b), abaixo do qual há uma indiferença.
- p representa o limite de preferência, o menor valor para alternativa (a) sobre alternativa (b), acima do qual há uma preferência estrita.

Santos (2009) descreve os tipos das funções de preferência do método PROMETHEE.

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".

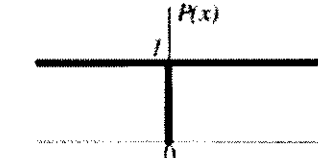
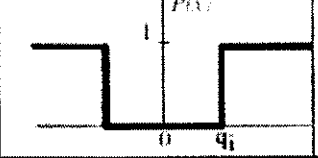
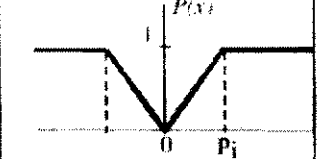
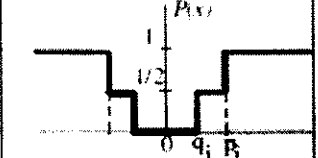
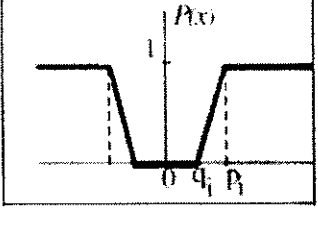
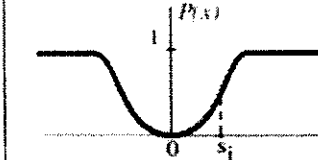
Usando símbolos: Se $d(a, b) > p_i$, então $P(a, b) = 1$,

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 "si" indica a distância da origem até o ponto de inflexão da derivada da função.

Figura 4.1 – Funções de preferência do método PROMETHEE.

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

Fonte: Santos (2009).

Estabelecidas as intensidades de preferências, calcula-se o índice de preferência multicritério (grau de sobreclassificação) $[\pi(a,b)]$ - o qual é definido para todos os pares ordenados de alternativas (BRANS & VINCKE, 1985) - como segue:

$$\pi(a, b) = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^n p_j F_j(a, b) \quad (4.1)$$

$$P = \sum_{j=1}^n p_j \quad (4.2)$$

com $p_j > 0, j=1, 2, \dots, k$, são os pesos representando a importância relativa de cada critério. Eles constituem a informação adicional requisitada para o enriquecimento da estrutura de preferência entre os critérios.

Brans e Mareschal (1998 APUD ALENCAR, 2003) explicam que o índice de preferência multicritério $[\pi(a,b)]$ está expressando como e com que grau a é preferível a b sobre todos os critérios; e, $[\pi(b,a)]$ como b é preferível a a . Tanto $\pi(a,b)$ quanto $\pi(b,a)$ são normalmente positivos. Verifica-se que:

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

Sendo claro que:

$\pi(a,b) \sim 0$ implica em uma preferência global de a sobre b

$\pi(a,a) \sim 1$ implica uma forte preferência global de a sobre b

4.1.3 Matriz de Avaliação

Para Santos (2009) a análise multicriterial apresenta uma melhor compreensão quando estruturada na forma de matriz, que é denominada de matriz de avaliação ou de impacto, conforme mostrada na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 - 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	$F_p(x_1)$	$F_p(x_2)$	$F_p(x_3)$...	$F_p(x_n)$

Fonte: Adaptado de Santos (2009).

Em síntese, cada uma das n alternativas de solução é avaliada de acordo com os p critérios estabelecidos no processo decisório (SANTOS, 2009).

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).

4.1.4 Fluxos de Importância do PROMETHEE

Em seguida são calculados os fluxos de importância no qual 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, de acordo com ZUFFO *et al.* (2002):

• **Fluxo de importância positivo (fluxo de saída):**

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (4.3)$$

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

• **Fluxo de importância negativo (fluxo de entrada):**

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (4.4)$$

O fluxo negativo de importância expressa como uma alternativa a é superada pelas outras. Em outras palavras, é o caractere que define a fraqueza da alternativa a . O mais baixo $\phi^-(a)$ corresponde a melhor alternativa.

A ordenação completa realizada pelo PROMETHEE, parte da soma dos afluxos de importância, definindo-se cada $a \in A$, o fluxo de importância líquido definido por:

• **Fluxo líquido de sobreclassificação:**

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (4.5)$$

O balanço entre os fluxos de importância positiva e negativa proporciona a escolha baseada no maior fluxo líquido de preferência. O maior valor corresponde a melhor alternativa.

4.1.5 Família PROMETHEE

A família de métodos PROMETHEE se divide em (ALMEIDA & COSTA, 2002):

• **PROMETHEE I** – a interseção entre os fluxos anteriores estabelece uma relação de sobreclassificação parcial entre as alternativas.

• **PROMETHEE II** – classifica as alternativas, estabelecendo uma ordem decrescente de $\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$ - (fluxo líquido); estabelece uma ordem completa entre as alternativas.

• **PROMETHEE III E IV** – foram desenvolvidas para o tratamento de problemas de decisão mais sofisticados, em particular com um componente estocástico.

• **PROMETHEE V** – nesta implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (PROMETHEE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema para as alternativas selecionadas, incorporando uma filosofia de otimização inteira.

• **PROMETHEE VI** – quando o decisor não está apto ou não quer definir precisamente os pesos para os critérios, pode-se especificar intervalos de possíveis valores em lugar de um valor fixo para cada peso.

• **PROMETHEE GAIA** – Extensão dos resultados do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo.

PROMETHEE II

A escolha do Método Promethee II como subsídio a elaboração da metodologia proposta nesta pesquisa se justifica em primeiro lugar, pelo seu fácil entendimento, potencializando, pois, a transparência do processo decisório e também o ordenamento das alternativas segundo os vários critérios – é simples, e os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação – indiferença, preferência fraca e preferência forte – têm um significado tangível para o decisor (CARVALHO *et al.* 2012).

Alencar (2003) afirma que, no PROMETHEE II, o decisor frequentemente solicita uma ordenação completa, o que facilita a decisão final. Esse método ordena as alternativas, estabelecendo uma ordem decrescente de $\phi(a)$ (fluxo líquido), e completa entre elas. Escolhe-se, então, a alternativa que tenha o maior fluxo líquido de importância (ARAÚJO & ALMEIDA, 2009).

Com base nesses fluxos o PROMETHEE II fornece um *ranking* completo, que se baseia no contrapeso dos dois fluxos de preferência.

A pré-ordem completa do PROMETHEE II é definida por Macharis *et al.* (1998) da seguinte maneira:

“*a*” é preferível à “*b*” $a P^I b$, se $\varphi(a) > \varphi(b)$

“*a*” é indiferente à “*b*” $a I^I b$, se $\varphi(a) = \varphi(b)$

Os passos necessários para operacionalização do Promethee II foram ressaltados por Silva (2007) e encontram-se relacionados a seguir:

1) O primeiro passo consiste em calcular para cada par de alternativas (critério a critério) as diferenças existentes entre os pares segundo o critério em questão. Essas diferenças são representadas por *d*. Em outras palavras o cálculo de *d* tem como finalidade identificar a diferença de desempenho da alternativa *a* com a alternativa *b* em relação ao critério *j*, ou seja, tenta medir o quanto *a* supera *b* ($a S b$);

2) Já na segunda etapa de operacionalização do Promethee II, têm-se um processo de avaliação da função de preferência relativa *P* (representa o grau de preferência do decisor quando este escolhe uma alternativa em relação à outra) para cada critério *j*, de acordo com o modelo de critério de decisão.

4.2 MÉTODOS MULTICRITÉRIOS ORDINAIS

Segundo Vincke (1992), métodos elementares ou cardinais são aqueles que imediatamente vêm à mente quando se confronta com um problema de agregação multicritério. São métodos muito utilizados na prática.

Os métodos ordinais são considerados bastante intuitivos e pouco exigentes tanto em termos computacionais quanto em relação às informações necessárias por parte do decisor. Dele não são necessários mais do que as pré-ordens relativas a cada critério (BARBARO & POMEROL, 1997). Para o uso dos métodos ordinais, o decisor deve ordenar as alternativas de acordo com as suas preferências ou, eventualmente, usar uma ordenação natural como, por exemplo, renda obtida (CALDAS & AZEVEDO, 2009). Porém, de acordo com Freitas *et al.* (2008), devido à sua simplicidade, podem encobrir alguns aspectos importantes do problema.

A escolha destes métodos fundamenta-se no fato de que deve existir um claro entendimento da necessidade de estabelecer uma abordagem multicritério para avaliar e ordenar os melhores açudes no que diz respeito ao uso potencial de suas águas. Os métodos

ordinais multicritérios mais utilizados e também empregados neste trabalho para tratar problemas de ordenações das alternativas feitas por múltiplos decisores são:

4.2.1 Método de Borda (*Soma dos Ranks*):

É fundamentado no método desenvolvido por Jean-Charles de Borda (1770), originado de processos eleitorais, podendo ser adaptado como método multicritério de auxílio à decisão em problemas de ordenação, seleção ou escolha (ROCHA & FREITAS, 2008). Para Jesus *et al.* (2012) esse método tem a grande vantagem da simplicidade.

O objetivo deste método é agregar n ordenações (*rankings*) em uma única ordenação global (FREITAS *et al.*, 2008). Ainda de acordo com Jesus *et al.* (2012), sucintamente, este método é utilizado da seguinte forma: o decisor deve ordenar as alternativas de acordo com as suas preferências; a alternativa mais preferida recebe um ponto, a segunda melhor, ganha dois pontos, e assim sucessivamente. No final, os pontos atribuídos pelos decisores a cada alternativa são somados, e a alternativa que tiver obtido a menor pontuação é a escolhida.

Segundo Mello (2005), o método de Borda apresenta a desvantagem de não ser indiferente às alternativas irrelevantes, não respeitando um dos mais importantes axiomas de Arrow. Ou seja, a posição final de duas alternativas não é independente em relação às suas classificações em relação a alternativas irrelevantes. Tal fato pode gerar distorções, com destaque para a extrema dependência dos resultados em referência ao conjunto de avaliação escolhido e a possibilidade de manipulações pouco honestas (CALDAS & AZEVEDO, 2009).

4.2.2 Método de Condorcet (*Regra Majoritária*):

Foi concebido pelo matemático francês Marquês de Condorcet no século XVIII, e refere-se a um sistema de votação que compara candidatos dois a dois (LACERDA & AMARO, 2007). Pode ser utilizado em problemas de escolha, seleção ou ordenação.

Mello (2005) afirma que o Método de Condorcet baseia-se em relações de preferências. Quando cada decisor ordena as alternativas por ordem de preferência, o analista verifica, em cada par de alternativas, qual delas foi preferida pela maioria dos decisores. Neste caso, diz-se que esta alternativa é preferível em relação à outra. Podem ser traçados grafos representativos destas relações de preferência, em que o arco (u, v) pertence ao grafo se, e só se, o número de decisores que preferiram u a v é maior ou igual ao número dos que preferiram v a u . É melhor

aquela que “vencer” a outra variável em uma maior quantidade de critérios (JESUS *et al.*, 2012).

Segundo Valladares *et al.* (2008), este método é menos simples que o de Borda e tem a vantagem de impedir distorções ao fazer com que a posição relativa de duas alternativas independa de suas posições relativas a qualquer outra. Entretanto, vale ressaltar a possibilidade de ocorrência do *paradoxo de Condorcet*, ou seja, situações onde a preferência transitiva individual de três ou mais decisores, sobre três ou mais alternativas, ao serem combinadas geram uma preferência coletiva intransitiva, também conhecida como cíclica (ROCHA & FREITAS, 2008). Para quebrar esse efeito o procedimento não deixa claro se devem ser eliminadas as alternativas ou se apenas devem-se mudar a ordem de preferências das proposições mais fracas (LEVINO & MORAES, 2010). Essa situação embora possa ser aproveitada em certos problemas, impossibilita gerar uma ordenação das alternativas (JESUS *et al.*, 2012).

4.2.3 Método de Copeland

O método de Copeland deriva do método de Condorcet e de acordo com Barba-Romero e Pomerol (1997) esse método foi proposto pelo pesquisador americano A. H. Copeland, na Universidade de Michigan (1951). O método de Copeland usa a mesma matriz de adjacência que representa o grafo obtido no método de Condorcet. A partir dela calcula-se a soma das vitórias menos as derrotas, ou seja, subtraem-se as linhas pelas colunas, em uma votação por maioria simples. As alternativas são então ordenadas pelo resultado dessa soma (LEVINO & MORAES, 2010).

O método de Copeland alia a vantagem de sempre fornecer uma ordenação total (ao contrário do método de Condorcet) ao fato de dar o mesmo resultado de Condorcet, quando este não apresenta nenhum ciclo de intransitividade. Quando esses ciclos existem, o método de Copeland permite fazer a ordenação e mantém a ordenação das alternativas que não pertencem a nenhum ciclo de intransitividade (FERREIRA *et al.*, 2011).

Apesar de computacionalmente ser mais exigente que Borda, quando há necessidade de estabelecer uma relação de pré-ordem, ou ordem das alternativas, este método fornece sempre uma resposta (ao contrário do método de Condorcet) e, apesar de não eliminar, reduz bastante a influência de alternativas irrelevantes (GOMES JUNIOR *et al.*, 2005). O método de Copeland alia as filosofias desenvolvidas pelos métodos de Borda e Condorcet, reunindo, dentro do possível, as vantagens dos dois (CALDAS & AZEVEDO, 2009).

CAPÍTULO V

O MODELO DE OTIMIZAÇÃO ORNAP

O modelo de otimização adotado no estudo do sistema hídrico da bacia do açude Sumé por Costa (2011) foi desenvolvido por Curi e Curi (1997) sendo baseado, originalmente, em Programação Não-Linear (PNL) e, posteriormente adaptado por Santos (2007) para trabalhar com Programação Linear (PL). Através da combinação do artifício de linearização por segmentos e da programação linear sequencial foram implementadas as linearizações apropriadas das não linearidades intrínsecas aos processos de cada componente do modelo. O modelo foi batizado de ORNAP (*Optimal Reservoir Network Analysis Program*) utiliza o *Toolbox Optimization* do software MATLAB 6.5 com o Método do Ponto Interior para a busca da solução ótima.

O ORNAP destina-se a otimizar os múltiplos usos de um sistema de recursos hídricos, com a implantação ou melhoramento da operação de um ou mais perímetros irrigados. As variáveis do modelo e as equações que regem o seu comportamento estão relacionadas com as informações obtidas dos elementos naturais (como aspectos hidroclimáticos, hidroagrícolas, etc.) e da infraestrutura (das demandas hídricas, das características físicas dos componentes hidráulicos das estruturas de armazenamento e transporte de água) identificadas no sistema hídrico em estudo. A dinâmica de operação do reservatório e dos nós é fundamentada na equação do balanço hídrico. A demanda hídrica de cada perímetro irrigado é determinada com base na necessidade suplementar líquida de irrigação, estabelecidas através do balanço hídrico no solo para as culturas selecionadas, estando a área a ser plantada limitada pela disponibilidade de água e solo, além da sua prioridade de atendimento. Também é levado em consideração os diferentes tipos de sistemas de irrigação, suas necessidades de altura manométrica, as áreas a serem irrigadas para cada tipo de cultura agrícola, preço da água e de produção, os aspectos econômicos e a combinação ou variação nas fontes de bombeamento e a quantidade de água captada (SANTOS *et al.*, 2011).

O período computacional do modelo é a nível mensal e possibilita verificar o comportamento do sistema hídrico para várias situações climáticas e para vários cenários de uso da água (abastecimento humano e animal, irrigação, piscicultura, etc.) ou de regras operacionais (volumes metas), possibilitando análises para a busca de uma operação sustentável do sistema hídrico (BARROS, 2010).

O ORNAP foi utilizado em Costa (2011) para realização de uma análise multiobjetivo dos usos múltiplos dos pequenos açudes integrantes da Bacia do açude de Sumé/PB objetivando maximizar os ganhos socioeconômicos na região. Para isso foram definidos cinco cenários que contemplassem os diversos usos a serem aplicados nos açudes, analisados e identificados quais os cenários que melhor se adequariam para modificar a realidade socioeconômica da região estudada. No presente trabalho foram observados potencialmente, os maiores benefícios assim como os maiores impactos dos cenários 1, 3 e 4 estudados por Costa (2011), considerando o uso potencial das águas dos pequenos açudes encontrados a montante do açude de Sumé para o desenvolvimento de um modelo multicriterial.

5.1 FUNÇÕES OBJETIVOS

A função objetivo é uma combinação linear das funções objetivo do problema, ou seja, utilizando o Método das Ponderações (Braga e Gobetti, 2002). Cada função objetivo é normalizada e as ponderações são pesos atribuídos às funções para definir suas prioridades de atendimento. Tais funções estão sujeitas a inúmeras restrições, representadas por equações de natureza linear e não linear, que traduzem, a nível mensal, as limitações físicas dos reservatórios, perímetros irrigados e equipamentos hidráulicos, e limitações hidrológicas, legais, econômicas e sociais, inerentes aos sistemas de usos múltiplos (SANTOS *et al.*, 2011).

A seguir, serão abordadas as cinco funções objetivo utilizadas no ORNAP, bem como suas equações de restrição de acordo com Costa (2011) e Santos *et al.* (2011):

5.1.1 Demandas nas Tomadas de Água

A função objetivo destinada à minimização do déficit do atendimento das demandas nas tomadas d'água dos reservatórios e dos nós do sistema é representada na equação 5.1.

$$DTDQ = \sum_t \left(\frac{Dtr(t) - Qtr(t)}{Dtr(t)} \right)^2 \quad (5.1)$$

Onde:

$Dtr(t)$ – demanda requerida na tomada d'água no mês t ;

$Qtr(t)$ – vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água no mês t .

Para que a Equação 5.1 possa ser utilizada em PL, optou-se por linearizá-la através do Artificio de Linearização por Segmentos, dividindo a vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água, no mês t , em 4 segmentos iguais, como mostra a Figura 5.1.

Assim a função objetiva quadrática será representada pela equação 5.2:

$$\left(\frac{Dtr(t)-Qtr(t)}{Dtr(t)}\right)^2 = 1 + \sum_{i=1}^4 \phi_{tr_i}(t) \cdot Qtr_i(t) \quad (5.2)$$

Onde:

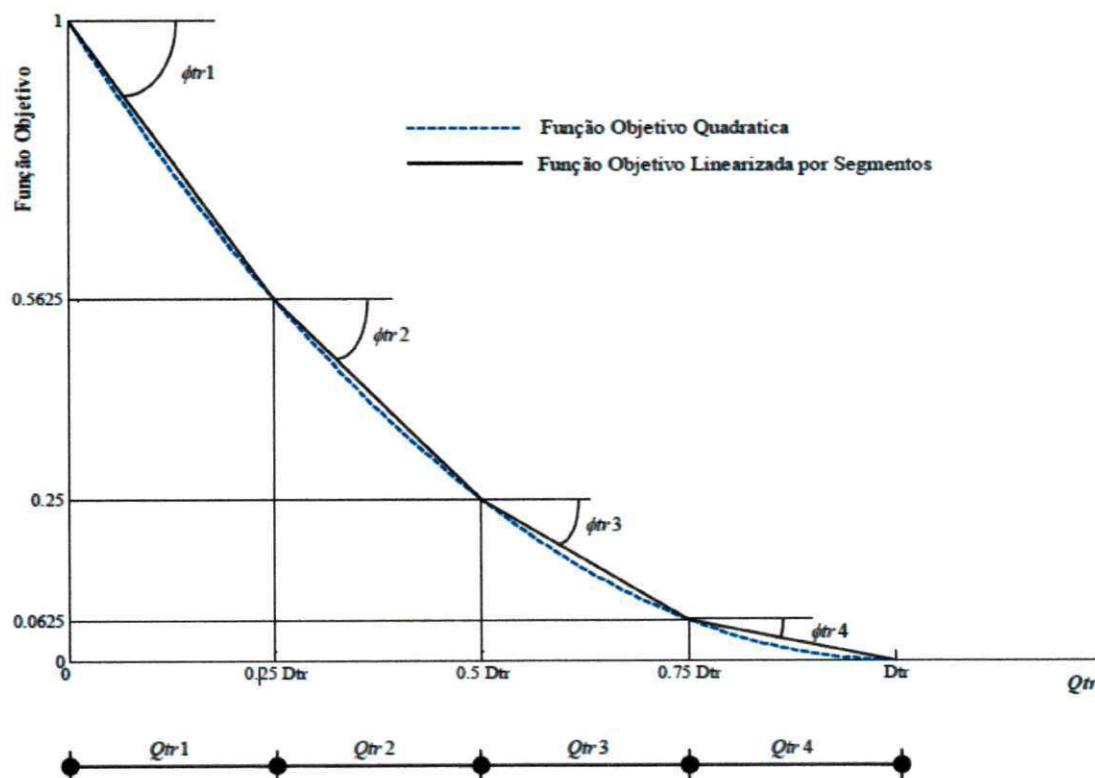
i – indica os segmentos de vazão destinada ao atendimento na demanda na tomada d'água no mês t , $i = 1, 2, 3, 4$;

$\phi_{tr_i}(t)$ – declividade da reta do segmento de reta i da vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água no mês t ;

$Qtr_i(t)$ – incremento da vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água do trecho segmentado i , no mês t , limitado pela equação 5.3:

$$0 \leq Qtr_i(t) \leq 0,25 \times Dtr(t) \quad (5.3)$$

Figura 5.1. Gráfico da função objetivo quadrática e linearizada por segmentos da demanda na tomada d'água do reservatório ou do nó no mês t .



Fonte: Costa (2011).

Portanto, o valor da vazão destinada ao atendimento da demanda na tomada d'água em um dado mês t será dado pela equação 5.4:

$$Q_{tr}(t) = \sum_{i=1}^4 Q_{tri}(t) \quad (5.4)$$

5.1.2 Vazão Efluente do Reservatório

O volume mensal defluente dos reservatórios permite a perenização ou regularização da vazão a jusante, assim como o atendimento das demandas ecológicas ou outros usos da água. A equação 5.5 representa a função objetivo que se destina minimizar o déficit entre o volume defluente liberado pelo reservatório r no mês t (Q_{ert}) e a demanda mínima a ser mantida a jusante do reservatório r no mês t (D_{ert}):

$$VER = \left| \frac{D_{e(t)} - Q_{e(t)}}{D_{e(t)}} \right| \quad (5.5)$$

Onde:

$D_{e(t)}$ – vazão regularizável, vazão efluente mínima ou demanda ecológica estabelecida para o mês t ;

$Q_{e(t)}$ – vazão efluente liberada pelo reservatório no mês t .

5.1.3 Volume Meta do Reservatório

O volume meta planeja manter o volume de água do reservatório em certo nível para atender certas demandas, como controle de cheias, recreação, piscicultura, ou geração de energia elétrica. O modelo tem como objetivo minimizar o déficit entre o volume de água do reservatório r no final do mês t (VR_{rt}) e o volume meta estabelecido neste mês ($VR_{meta(t)}$), representada na Equação 5.6:

$$VMR = \sum_t \left(\frac{VR_{meta(t)} - VR(t)}{VR_{meta(t)}} \right)^2 \quad (5.6)$$

Onde:

$VR_{meta(t)}$ – volume meta do reservatório no mês t ;

$VR(t)$ – volume de água no reservatório no fim do mês t .

A equação anterior foi linearizada pelo artifício da linearização por segmentos e a função objetivo quadrática VMR passou a ser representada pela equação 5.7:

$$\left(\frac{VR_{meta(t)} - VR(t)}{VR_{meta(t)}} \right)^2 = \left(\frac{VR_{meta(t)} - VR_m(t)}{VR_{meta(t)}} \right)^2 + \sum_{m=1}^{nm} \phi VR_m(t) \cdot vr_m(t) \quad (5.7)$$

Onde:

m – indica o segmento de cada trecho do volume de água do reservatório no mês t , $m = 1, \dots, nm$ (número de segmentos do volume de água do reservatório);

$\phi VR_m(t)$ – declividade do segmento de reta m do volume de água do reservatório no mês t ;

vr_m – incremento do volume de água do reservatório para o trecho segmentado m , no mês t .

Os volumes VR_1, VR_2, VR_3, \dots , o volume mínimo, VR_m , o volume meta, VR_{meta} , e a capacidade do reservatório, VR_{cap} , são volumes de controle que devem ser definidos previamente. Cada segmento m do volume de água do reservatório é limitado pelos volumes de controle.

Os volumes VR_1, VR_2, VR_3, \dots , podem ser volumes físicos pré-estabelecidos como o volume que corresponde a cota de entrada do descarregador de fundo ou da cota de entrada da tomada d'água, bem como podem ser pontos da curva *cota-área-volume* de modo a se obter um bom ajuste linear da mesma.

Portanto, o volume de água do reservatório, em um dado mês t , será dado na equação 5.8:

$$VR(t) = VR_m(t) + \sum_{m=1}^{nm} vr_m(t) \quad (5.8)$$

5.1.4 Receita Líquida da Agricultura Irrigada

O modelo também apresenta como função objetivo a maximização da receita líquida (RL) oriunda da agricultura irrigada, definida como o resultado da diferença entre a renda bruta total auferida com a venda da safra agrícola e os respectivos custos de produção envolvidos, gerada pela escolha apropriada das áreas a serem irrigadas para cada tipo de cultura agrícola prevista nos perímetros irrigados. Portanto, a receita líquida de um perímetro irrigado k , em (R\$/ano) é dada pela equação 5.9:

$$RL = \sum_{n=1}^{na} [\sum_{j=1}^{nc} Rb_j(n) - Cp_j(n) - Ca_j(n) - Cb_j(n)] \quad (5.9)$$

Onde:

n – indica o ano, $n=1,2,3,\dots,na$ (número de anos);

j – indica o tipo de cultura, $j=1,2,3,\dots,nc$ (número de culturas);

$Rb_j(n)$ – renda bruta anual da cultura j no ano n ;

$C_{pj}(n)$ – custo de produção anual da cultura j no ano n ;

$C_{aj}(n)$ – custo da água anual usada na cultura j no ano n ;

$C_{bj}(n)$ – custo anual de bombeamento de água para a cultura j no ano n .

A renda bruta anual (Rb_j), em R\$/ano/cultura, pode ser estimada através da equação 5.10:

$$Rb_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} Prod_{jk}(n) \cdot Prc_j(n) \cdot Ac_{jk}(n) \quad (5.10)$$

Onde:

k – indica a unidade de produção ou perímetro irrigado, $k = 1, 2, \dots, ni$, (ni = número de unidade de produção ou perímetro irrigado);

$Prod_{jk}(n)$ – produtividade da cultura j por unidade de área na unidade de produção ou perímetro irrigado k no ano n ;

$Prc_j(n)$ – preço atual de comercialização da cultura j no ano n ;

$Ac_{jk}(n)$ – área plantada com a cultura j na unidade de produção ou perímetro irrigado k no ano n .

O custo de produção anual (C_{pj}), em R\$/ano/cultura, relativos aos gastos com insumos, mão de obra e máquinas, entre outros, é dado pela equação 5.11:

$$C_{pj}(n) = \sum_{k=1}^{ni} C_{prod_{jk}}(n) \cdot Ac_{jk}(n) \quad (5.11)$$

Onde:

$C_{prod_{jk}}(n)$ – custo atual de produção por unidade de área da cultura j referentes aos gastos relativos ao ano n .

Para se determinar o custo da água utilizada para a irrigação e o seu bombeamento, é necessário estabelecer a quantidade de água alocada para irrigação, ou seja, a lâmina de rega.

Primeiramente, calcula-se a necessidade hídrica máxima mensal desta planta para desempenhar as suas atividades vegetativas ao longo do seu ciclo fenológico, ou seja, calcula-se a taxa de evapotranspiração potencial mensal (ETP_{jkt}) da cultura j na unidade de produção ou perímetro irrigado k durante o mês t , que pode ser estimada, de forma aproximada, em função da taxa de evaporação de referência no mês t na unidade de produção ou perímetro irrigado k ($ET0_{kt}$), obtida na equação 5.12:

$$ET0_{kt} = K_{tkt} \cdot Ev_{kt} \quad (5.12)$$

Onde:

K_{kt} – coeficiente do tanque evaporimétrico da unidade de produção ou perímetro irrigado k no mês t ;

Ev_{kt} – taxa de evaporação mensal de um tanque evaporimétrico, normalmente do tipo classe A na unidade de produção ou perímetro irrigado k ;

Logo, a evapotranspiração potencial mensal (ETP_{jkt}) é obtida por:

$$ETP_{jkt} = kc_{jt} \cdot ETO_{kt} \quad (5.13)$$

Onde:

kc_{jt} – coeficiente de cultivo mensal da cultura j que reflete a sua necessidade hídrica no mês t .

A necessidade hídrica suplementar (Nl_{jkt}) ou lâmina de rega que a planta necessita para cada intervalo de tempo do seu ciclo vegetativo pode ser determinada pela equação 5.14:

$$Nl_{jkt} = ETP_{jkt} - Pekt - Gjkt - Wkt \quad (5.14)$$

Onde:

$Gjkt$ – dotação de água à zona radicular da cultura j durante o mês t por capilaridade (em mm) que depende do tipo de solo e do nível do lençol freático na unidade de produção ou perímetro k ;

Wkt – reserva de água no solo no início do mês t (em mm), que depende da capacidade de armazenamento de água no solo na unidade de produção ou perímetro k .

Logo, a lâmina mensal de água para a irrigação da cultura j da na unidade de produção ou perímetro k durante o mês t (Q_{irrjkt}), transformada em vazão por unidade de área fornecida pelo sistema, pode ser obtida na equação 5.15:

$$Q_{irrjkt} = \frac{Nl_{jkt}}{(1-LR_{jkt}) \cdot E_{irrjk}} \quad (5.15)$$

O custo da água anual, Ca_j (em R\$/ano/cultura), captada para a unidade de produção ou perímetro k é obtido pela equação 5.16:

$$Ca_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} \left[\sum_{t=12(n-1)+1}^{12(n-1)+12} Pra_k \cdot Q_{irrjkt} \cdot Ac_{jk} \right] \quad (5.16)$$

Onde:

Pra_k – preço da água por unidade de volume para a unidade de produção ou perímetro k .

O custo anual de bombeamento de água, Cb_j (em R\$/ano/cultura) para as culturas irrigadas é obtido através da equação 5.17:

$$Cb_j(n) = \sum_{k=1}^{ni} \left[\sum_{t=12(n-1)+1}^{12(n-1)+12} \left(\frac{0,02726 \cdot Prb_k \cdot \Delta H_{jkt} \cdot Q_{irr_{jkt}} \cdot Ac_{jk}(n)}{\eta_k} \right) \right] \quad (5.17)$$

Onde:

Prb_k – preço da energia (em R\$/Kwh) para a unidade de produção ou perímetro k ;

ΔH_{jkt} – altura manométrica média (em m.c.a.), requerido pelo sistema de irrigação da cultura j e aduzido para a unidade de produção ou perímetro k no mês t ;

η_k – eficiência do sistema de bombeamento da unidade de produção ou perímetro k .

5.1.5 Mão de Obra da Agricultura Irrigada

A maximização da mão-de-obra oriunda da atividade agrícola nos perímetros irrigados é outra função objetivo sujeita às mesmas restrições agrônômicas. A mão-de-obra total empregada MO (em diárias/ano) requerida nas unidades de produção ou perímetros é dada pela equação 5.18:

$$MO = \sum_{n=1}^{na} \sum_{k=1}^{ni} \sum_{j=1}^{nc} Hdc_{jk}(n) \cdot Ac_{jk}(n) \quad (5.18)$$

Onde:

Hdc_{jk} – mão-de-obra, por unidade de área, requerida pela cultura j na unidade de produção ou perímetro k ;

5.1.6 Função Multiobjetivo

O modelo utiliza o Método das Ponderações para efetuar a análise multiobjetivo, sendo cada função objetivo, descrita anteriormente, normalizada. Logo, a função objetivo do modelo é dada pela Equação 5.19.

Por conseguinte, a função objetivo do modelo é dada pela equação:

$$\min f_0 = \omega_1 \cdot DTDQ + \omega_2 \cdot VER + \omega_3 \cdot VMR - \omega_4 \cdot RL - \omega_5 \cdot MO \quad (5.19)$$

Onde:

ω_i – coeficiente de ponderação que mede a relativa importância ou prioridade de atendimento dada a cada objetivo, $i = 1, 2, \dots, 5$. Quando $\omega_i = 0$ a função objetivo i não será considerada no processo de otimização.

5.2 EQUAÇÕES DE RESTRIÇÃO

5.2.1 Operação dos Reservatórios

Os reservatórios podem ser conectados a outros elementos do sistema como a nós, descargas de fundo, vertedouros e tomadas de água (Figura 5.2), tendo o balanço hídrico, baseado no princípio de conservação da massa, expressa pela Equação 5.20.

$$VR_r(t) = VR_r(t-1) + Qa_r(t) + \sum_{a(r)} Qtr_{ar}(t) - Qf_r(t) - Qv_r(t) + Pr(t) - Ev_r(t) + Qn_c(t) \quad (5.20)$$

Onde:

r – índice que representa o r -ésimo reservatório do sistema;

n – índice que representa o n -ésimo nó do sistema;

$VR_r(t)$ – volume do reservatório r no final do mês t ;

$VR_r(t-1)$ – volume do reservatório r no início do mês t ;

$Qa_r(t)$ – vazão afluente ao reservatório r durante o mês t ;

$a(r)$ – índice que representa a a -ésima tomada d'água do reservatório r ;

$f(r)$ – índice que representa a f -ésima tomada d'água de fundo do reservatório r ;

$Qtra(r)(t)$ – a -ésima vazão de tomada d'água do reservatório r no mês t ;

$Qtf(r)(t)$ – f -ésima vazão de tomada d'água de fundo do reservatório r no mês t ;

$Qfr(t)$ – vazão de descarga de fundo do reservatório r durante o mês t ;

$Qvr(t)$ – volume vertido do reservatório r durante o mês t ;

$Pr(t)$ – volume precipitado no reservatório r durante o mês t ;

$Evr(t)$ – volume evaporado no reservatório r durante o mês t ;

$Qnc(t)$ – vazão de entrada no reservatório r oriundo de contribuições da c -ésima calha (trecho) do rio a montante do reservatório r no mês t .

O volume precipitado e evaporado no reservatório r em cada mês t é dado pelas equações 5.21 e 5.22:

$$P_r(t) = p_r(t) \cdot \left(\frac{AR_t(t) + AR_t(t-1)}{2} \right) \quad (5.21)$$

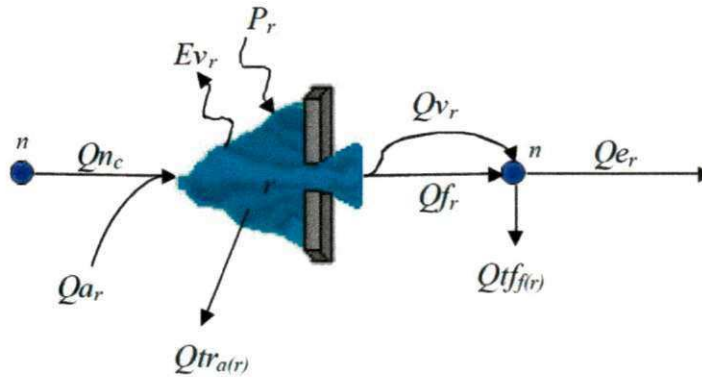
$$E_r(t) = e_r(t) \cdot \left(\frac{AR_t(t) + AR_t(t-1)}{2} \right) \quad (5.22)$$

Onde:

p_r – taxa de precipitação para o reservatório r no mês t ;

- e_r – taxa de evaporação para o reservatório r no mês t ;
 $AR_r(t)$ – área do espelho d'água do reservatório r no final do mês t ;
 $AR_r(t-1)$ – área do espelho d'água do reservatório r no início do mês t .

Figura 5.2. Diagrama representando os componentes do sistema avaliados pelo modelo.



Fonte: Santos (2007).

A área do espelho de água do reservatório é relacionada com o volume do reservatório através de segmentos de reta na curva área-volume de modo a obter um bom ajuste linear da mesma. Assim a área do espelho d'água do reservatório r no mês t ($AR_r(t)$) será dada pela equação 5.23:

$$AR_r(t) = ARm_r(t) + \sum_{m=1}^{nm} \beta_{m,r} \cdot vr_{m,r}(t) \quad (5.23)$$

Onde:

ARm_r – área do espelho de água do reservatório r correspondente à seu volume mínimo

$\beta_{m,r}$ – coeficiente angular de cada segmento de reta da curva área-volume do reservatório r .

Os volumes de controle (ou pontos de quebra) utilizados devem ser os mesmos considerados na linearização da Equação 5.6. Desse modo as Equações 5.7 e 5.23 terão os mesmos trechos segmentados m do volume de água do reservatório r ($vr_{m,r}$).

O volume a ser captado através das tomadas d'água está limitado pela sua capacidade máxima (Q_{trmaxd}) e a cota de entrada do tubo da tomada d'água d no reservatório r ($H_{tr}(r)$), escrito matematicamente pela expressão:

$$0 \leq Q_{tr_{\alpha}(r)}(t) \leq Q_{trmax_{\alpha}(r)}(t) \quad (5.24)$$

$$Q_{tr_{\alpha}(r)}(t) \geq 0, \text{ se } HR_r(t) \geq H_{tr_{\alpha}(r)} \quad (5.25)$$

Onde:

$Q_{trmax_{\alpha}(r)}$ – vazão máxima de captação pela α -ézima tomada d'água do reservatório r ;

$HR_{r(t)}$ – representa a cota do nível d'água do reservatório r no mês t ;

$Htr_{\alpha(r)}$ – representa a cota da α -ézima tomada d'água no reservatório r .

As vazões extravasadas pelos vertedouros somente serão verificadas se, e somente se, as condições adiante forem satisfeitas:

$$0 \leq Qv_r(t) \leq Qvmax_r \quad (5.26)$$

$$Qv_r(t) \geq 0, \text{ se } HR_r(t) \geq Hvert_r \quad (5.27)$$

A vazão liberada pelo descarregador de fundo (Qfr) do reservatório r está limitada por uma vazão de descarga de fundo máxima ($Qfmax_r$) em cada mês t , sendo esta estimada pela equação 5.33, referida em DAEE (2005 APUD Santos *et al.*, 2011):

$$Qfmax_r(t) = Cf_r(t) \cdot Af_r \cdot \sqrt{2g(HR_r(t) - Hfs_r)} \quad (5.28)$$

Onde:

Cf_r – coeficiente de vazão de descarga de fundo do reservatório r ;

Af_r – área da seção transversal do tubo de descarga de fundo do reservatório r ;

Hfs_r – cota de jusante da geratriz inferior do tubo de descarga de fundo do reservatório

r .

A curva da vazão máxima aduzida por descarga de fundo em função do volume de água do reservatório é obtida com o auxílio da curva cotavolume sendo a mesma linearizada através de segmentos de reta, como exemplificado na Figura 1, na qual VR1* representa o volume correspondente a cota de entrada da tubulação de descarga de fundo ($Hfer$). Os volumes de controle (ou pontos de quebra) devem ser os mesmos que foram utilizados para a linearização da Equação 5.6.

A vazão máxima aduzida pela descarga de fundo do reservatório r será dada pela equação 5.29:

$$Qfmax_r(t) = Qfmmax_r(t) + \sum_{m=1}^{nm} \gamma_m \cdot vr_m(t) \quad (5.29)$$

Onde:

$Qfmmax_r$ – vazão da descarga de fundo máxima do reservatório r correspondente ao volume mínimo do mesmo;

$\gamma_{m,r}$ – coeficiente angular de cada segmento de reta da curva da descarga de fundo máxima versus o volume do reservatório.

Na operação do reservatório, tem-se um volume final (VR_t) e um volume inicial ($VR_{(t-1)}$) que resultarão em duas vazões máximas (Q_{fmax_t} e $Q_{fmax_{(t-1)}}$) que poderão ser aduzidas pela descarga de fundo para um mês t . Para minimizar esse problema utilizou-se média destas duas vazões.

O volume de água do reservatório r esta limitado pela expressão 5.30:

$$VR_{m_r(t)} \leq VR_r(t) \leq VR_{cap_r(t)} \quad (5.30)$$

5.2.2 Aspectos de Restrição da Agricultura Irrigada

Outros aspectos relacionados com a agricultura irrigada são as restrições físicas e operacionais do sistema. Entre as restrições físicas pode-se destacar a área a ser irrigada em cada unidade de produção ou perímetro, a vazão a ser captada para a unidade de produção ou perímetro e a não negatividade das variáveis. Com relação às restrições de ordem operacional destacam-se os critérios agrônômicos e de mercado.

As limitações impostas pela capacidade do canal ou do sistema adutor, por onde a água será transportada até as respectivas unidades de produção ou perímetro irrigado, são representadas na equação 5.31:

$$\sum_{j=1}^{nc} Q_{irr_{jkt}} \cdot A_{c_{jk}} \leq Q_{tmax_k} \quad (5.31)$$

Onde:

Q_{tmax_k} – é a capacidade mensal da vazão do sistema de captação para a unidade de produção ou perímetro k .

As restrições quanto ao limite máximo mensal de área que poderá ser plantada por unidade de produção ou perímetro em cada mês, estão contidas na equação 5.32:

$$\sum_{j=1}^{nc} \xi_{jkt} \cdot A_{c_{jk}}(n) \leq A_{pmax_{kt}} \quad (5.32)$$

Onde:

$A_{pmax_{kt}}$ – limite máximo da área total que poderá ser plantada na unidade de produção ou perímetro k no mês t . Sendo:

$\xi_{jkt} = 1$, se a cultura j for plantada no mês t na unidade de produção ou perímetro k ;

$\xi_{jkt} = 0$, se a cultura j não for plantada no mês t na unidade de produção ou perímetro k .

Quanto aos critérios agronômicos e de mercado, o conjunto de restrições se refere aos limites mínimos e máximos das áreas a serem plantadas para cada tipo de cultura por unidade de produção ou perímetro irrigado, de acordo com a expressão 5.33:

$$A_{min_{jk}(n)} \leq A_{c_{jk}(n)} \leq A_{max_{jk}} \quad (5.33)$$

Onde:

$A_{min_{jk}}$ – área mínima a ser plantada com a cultura j por unidade de produção ou perímetro k no ano n ;

$A_{max_{jk}}$ – área máxima a ser plantada com a cultura j por unidade de produção ou perímetro k no ano n .

CAPÍTULO VI

METODOLOGIA

Nessa pesquisa foi realizado um levantamento de todas as informações obtidas em trabalhos anteriores, a respeito da bacia do açude de Sumé, com o propósito de avaliar o atual e potencial de uso dos açudes à montante do açude de Sumé sob a ótica multicriterial para aumentar a eficiência dos usos das águas desses açudes objetivando minimizar os efeitos da escassez hídrica na região.

A técnica de análise multicriterial apresenta dimensão financeira, social, ambiental e técnico-operacional dos critérios, cuja análise será efetuada com aplicação do método PROMETHEE II e dos métodos ordinais: Borda, Condorcet e Copeland. Apesar de existir uma ferramenta disponível na internet para o PROMETHEE II, preferiu-se usar o *software* Microsoft Excel® para sua aplicação assim como para os métodos ordinais pela simplicidade desta ferramenta.

A escolha dos critérios foi baseada em levantamentos bibliográficos e 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, representá-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, por fim, chegando a ordenação das alternativas com respectiva análise.

6.1 ETAPAS DA ANÁLISE MULTICRITERIAL:

O Apoio Multicritério à Decisão consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar a tomada de decisões, quando da presença de uma multiplicidade de critérios. Este processo pode ser decomposto em etapas (Ferreira et al., 2011) e encontra-se apresentado na Figura 6.1:

Figura 6.1 - Etapas da análise multicriterial.



Fonte: Elaboração da autora.

6.1.1 Formulação do Problema

Foi visto em Barros (2010) que a irregularidade hídrica no semiárido nordestino, mais precisamente, no município de Sumé - PB vem sendo tratada com a construção de reservatórios superficiais de grande, médio e pequeno porte. Porém, as altas taxas de evaporação, a aleatoriedade das vazões afluentes e a falta de um estudo planejado sobre a captação e uso da água destes açudes e seus impactos socioeconômicos e ambientais na região estão entre os principais fatores da não minimização do problema de escassez hídrica desta região.

Para tentar solucionar este problema foi realizado um levantamento de todas as informações obtidas, a respeito da Bacia do açude de Sumé, em trabalhos anteriores com o propósito de avaliar o atual e potencial de uso dos açudes à montante do açude de Sumé ordenando, segundo a preferência dos decisores, os melhores açudes através do método multicriterial PROMETHEE II e por meio dos métodos multidecisores. Os açudes foram avaliados com base em indicadores que pudessem ser quantificados e verificados em função dos dados coletados ou gerados, com vistas a fornecer ferramentas de análise que subsidiem estratégias para se fazer um melhor uso das suas águas.

6.1.2 Determinação de um Conjunto de Alternativas

As alternativas são os pequenos açudes da bacia do açude de Sumé, cujos desempenhos foram avaliados, neste trabalho, a partir do estudo do planejamento dos recursos hídricos realizado por Costa (2011), Barros (2010) e Projeto DISPAB-AS – Metodologias para Definição da Disponibilidade Hídrica em Pequenos Açudes e Pequenas Bacias da Região Semiárida do Brasil. Foram selecionados 20 dos 42 reservatórios, os quais estão apresentados na Tabela 6.1, que foram objeto de levantamento do DISPAB - SA, todos com capacidade volumétrica estimada entre 100.000 m³ e 1.000.000 m³, onde realizou a otimização dos usos múltiplos em cada açude individualmente. Dessa forma, a análise multicriterial realizada nesse estudo, considerou o uso potencial de suas águas, segundo estudos realizados na forma de cenários 1, 3 e 4, conforme a Tabela 6.2, por Costa (2011), observando, potencialmente, os maiores benefícios assim como os maiores impactos dos cenários estudados.

Tabela 6.1 - Alternativas determinadas para análise multicriterial.

ALTERNATIVAS	CÓDIGO DO AÇUDE	NOME DO AÇUDE
Alternativa 01	003	Leonardo
Alternativa 02	044	Lindalva
Alternativa 03	051	Marmeleiro
Alternativa 04	071	Ministro Aposentado
Alternativa 05	072	Raminho
Alternativa 06	073	Amparinho
Alternativa 07	075	Paulo Leite
Alternativa 08	132	-
Alternativa 09	144	Juraci
Alternativa 10	181	Uruçu
Alternativa 11	184	Jatobá
Alternativa 12	191	Salgadinho
Alternativa 13	238	Pé da Serra
Alternativa 14	248	Matarina
Alternativa 15	255	Mujiqui
Alternativa 16	277	São Francisco
Alternativa 17	401	Bethânia
Alternativa 18	433	Dom Pedro II
Alternativa 19	438	Quarteirão
Alternativa 20	628	Braço do São Paulo

Fonte: Adaptado de Silans et al.(2009).

Tabela 6.2 – Descrição dos cenários estudados por Costa (2011).

CENÁRIOS	CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS
Cenário 1	Atende apenas as demandas de abastecimento humano e animal.
Cenário 3	Atende as demandas de abastecimento humano e animal, irrigação e piscicultura extensiva, nessa ordem de prioridade.
Cenário 4	Atende, na seguinte ordem de prioridade, os usos para abastecimento humano e animal, a piscicultura extensiva e a irrigação.

Fonte: Elaboração da autora.

6.1.3 Definição dos Critérios de Avaliação

Os métodos de apoio multicritério à decisão têm como princípio buscar o estabelecimento de uma relação de preferências (subjetivas) entre as alternativas que estão sendo avaliadas sob a influência de vários critérios, no processo de decisão (BRAGA, 2001). A família de critérios deve representar de forma clara e correta o juízo de valores do decisor (ALENCAR, 2003).

De acordo com Santos (2004 APUD PORTO *et al.*, 1997) a tomada de decisão 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. Com base nisso foram definidos e utilizados, neste trabalho, os critérios financeiros, sociais, ambientais e técnico-operacionais, no sentido a estruturar e sistematizar a análise para auxiliar a tomada de decisão com o propósito de criar estratégias que proporcionem um melhor uso da água desses açudes.

Para melhor estruturar o problema os critérios foram hierarquicamente subdivididos em subcritérios cujas mensurações são os atributos. A ideia por trás desta hierarquização está na estruturação do problema, de forma sistêmica, para melhor quantificar ou qualificar os critérios, evitando redundância ou sobrevalorização de uns em detrimento de outros, assim como facilitar a expressão das preferências pelos decisores.

6.1.3.1 Critérios Segundo a Dimensão Financeira

Na análise financeira os critérios foram determinados com o propósito de descrever os anseios dos decisores do ponto de vista econômico demonstrando a importância dessa dimensão em relação às outras que serão levadas em consideração na análise multicriterial.

Neste estudo, a dimensão financeira é composta pelos seguintes critérios e subcritérios:

- 1) Custos relativos às intervenções hidráulicas:
 - a) Custo de implantação
 - b) Custo de operação

- 2) Lucros oriundos das atividades agrícolas e piscícolas praticadas:
 - a) Lucro agrícola
 - b) Lucro piscícola

6.1.3.1.1 Custos de Implantação e Operação

- a) Custos de Implantação

Segundo Santos (2009) 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.

Neste estudo o custo de implantação foi considerado de grande relevância pelo fato dos 20 reservatórios em análise serem privados. Na realização da análise multicriterial comparativa, é extremamente importante saber qual alternativa (desses 20 reservatórios) requer maiores recursos para sua implantação e o seu peso no processo decisório.

Desta forma, pode-se definir como atributo a este critério o estabelecimento de um valor aproximado de construção obtido através de regressão linear utilizando o software de ajuste de curva LAB fit.

O LAB fit é um software para Windows desenvolvido visando o tratamento e a análise de dados experimentais. Suas principais características, de acordo com o seu tutorial:

- Tem um menu para ajuste de curva e os principais programas deste menu são para o uso de regressão não-linear.

- Se encaixa em funções com uma ou várias variáveis independentes (de 1 a 6), permitindo incertezas a variável dependente (Y) e também com as variáveis independentes (X).

- Na sua biblioteca há mais de 200 funções com uma variável independente e quase 280 funções com duas variáveis independentes.

- O usuário dispõe de um programa localizador de funções. Se necessário, existe uma opção para que o usuário seja capaz de escrever a função própria forma.

- Uma vez determinados os parâmetros de ajuste, é possível extrapolar a função de ajuste e, nos casos de 2D e 3D, o gráfico da função obtido é mostrado. Para o caso 2D, além da possibilidade de extrapolação, o utilizador pode ainda incluir erro bares e bandas de confiança ao gráfico.

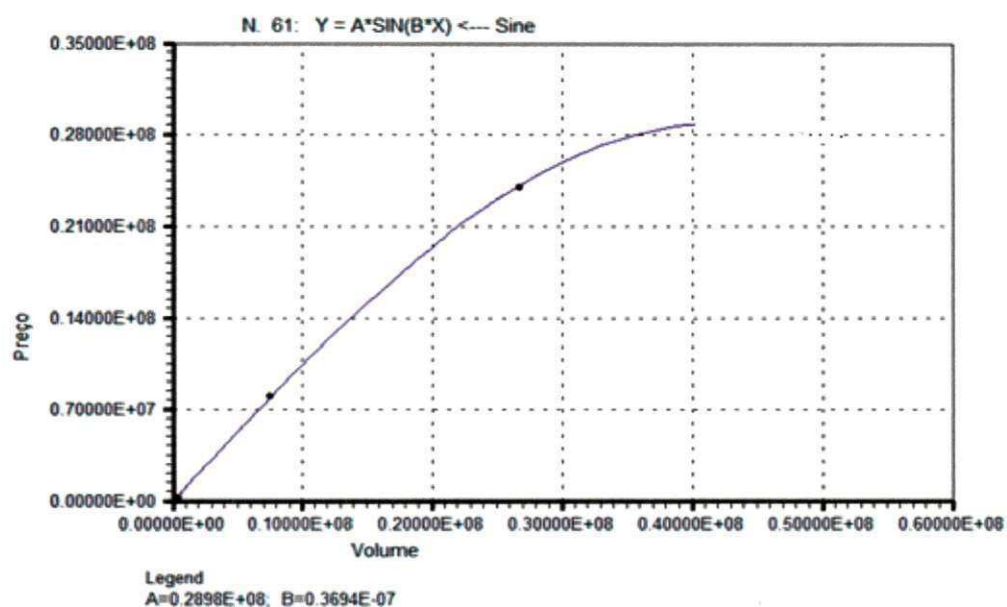
- Tem um menu destinado ao tratamento de dados semelhantes, de dados não-selhantes e propagação de erros. Além disso, há um terceiro menu com ferramentas em geral, como aquele que permite traçar uma função informada pelo usuário, e muitos outros tipos de cálculos também estão incluídos.

Como a variável volume do açude encontra-se altamente correlacionada com o preço de construção é possível fazer uma estimativa por meio do ajuste de curva, inserindo os valores da Tabela 6.3, encontrados na literatura para barragem de terra, no software:

Tabela 6.3 - Orçamentos da execução das obras de barragens de terra.

Barragem/Açude	Capacidade Volumétrica (m ³)	Orçamento da Execução da Obra (RS)	Fonte de Pesquisa
Guritiba	362.737,50	272.177,22	Projeto de Reconstrução do Açude Guritiba - PMMT
Cruzeta	7.460.000,00	8.076.835,29	RIMA - PMPB (2011)
Camará	26.581.614,00	24.000.000,00	Relatório Técnico - UFCG (2004)

Ao inserir os valores da Tabela 6.3, o LAB fit forneceu 200 valores de função de ajuste de curva, da melhor para a pior. A melhor, nesse caso, foi à equação 61, conforme a Figura 6.4. Com essa equação gerada pelo software, agora se torna possível o cálculo dos valores dos custos de implantação dos 20 reservatórios, vistos na Tabela 6.4.

Figura 6.4 - Curva de ajuste do custo de implantação dos reservatórios.

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 6.4 - Custo de implantação dos reservatórios obtido no LAB fit.

Reservatório	Capacidade Volumétrica (m ³)	Custo de Implantação (RS)
003	479.858,72	8.965,73
044	138.570,50	2.589,06
051	291.428,30	5.445,08
071	636.465,96	11.891,80
072	434.815,48	8.124,14
073	173.094,02	3.234,10
075	137.338,32	2.566,04
132	206.062,89	3.850,10
144	25.139,71	4.695,87
181	1.656.129,28	30.943,31
184	610.511,08	11.406,86
191	125.049,71	2.336,44
238	555.926,57	10.386,99
248	367.142,12	6.859,72
255	174.811,71	3.266,20
277	151.682,58	2.834,05
401	171.833,49	3.210,55
433	148.503,27	2.774,65
438	291.406,68	5.444,67
628	287.950,18	5.380,09

Fonte: Elaboração da autora.

b) Custo de Operação

Para o cálculo dos custos anuais de operação dos reservatórios foi adotado o procedimento sugerido pela Cartilha de Parâmetros Básicos e Limites de Custos para Subprojetos Comunitários (2009) - Programa Desenvolvimento Solidário -, que considera o cálculo dos custos anuais de operação igual a 5% dos custos de implantação. Na Tabela 6.5 encontra-se o custo anual de operação dos 20 reservatórios da bacia de Sumé.

Tabela 6.5 - Custo anual de operação dos reservatórios.

Reservatório	Custo de Operação (R\$/ano)
003	448,28
044	129,45
051	272,25
071	594,59
072	406,20
073	161,70
075	128,30
132	192,50
144	234,79
181	1547,16
184	570,34
191	116,82
238	519,34
248	342,98
255	163,31
277	141,70
401	160,52
433	138,73
438	272,23
628	269,00

Fonte: Elaboração da autora.

6.1.3.1.2 Lucro Agrícola e Piscícola

a) Lucro Agrícola

A expansão da oferta hídrica para atendimento à demanda das culturas agrícolas possibilita alocar uma maior área para plantio dessas culturas e simultaneamente garantir a obtenção de lucros ao longo do período.

Os dados relativos à lucratividade agrícola foram obtidos, no cenário 3, do trabalho de Costa (2011) através de programação linear utilizando o modelo de otimização multiobjetivo ORNAP e encontram-se na Tabela 6.6.

Tabela 6.6. Lucro agrícola anual dos reservatórios.

Reservatório	Lucro Agrícola (R\$/ano)
003	1.338.663,60
044	1.243.388,23
051	1.231.409,29
071	1.134.029,49
072	1.149.824,75
073	1.148.351,91
075	1.135.898,44
132	1.151.526,20
144	1.244.812,29
181	1.437.938,76
184	1.433.636,08
191	1.068.079,20
238	1.074.125,56
248	1.368.847,20
255	1.114.187,59
277	1.039.051,62
401	1.230.424,33
433	1.187.838,43
438	1.222.272,80
628	1.547.735,65

Fonte: Adaptado de Costa (2011).

b) Lucro da Piscicultura Extensiva

Nesse estudo é adotada a prática de piscicultura extensiva considerando-a de caráter comercial, onde a criação de peixes servirá como alternativa para a geração de empregos para a população ribeirinha e, conseqüentemente, como geração de renda.

A piscicultura extensiva caracteriza-se pela promoção de uma modificação mínima do ambiente natural. Nessa modalidade o fundo do viveiro é irregular e, corriqueiramente, não existe controle sobre as espécies cultivadas, número de animais, disponibilidade de alimento natural ou adubação, fluxo de água entre outros (Costa, 2011).

Os dados relativos à lucratividade na piscicultura foram obtidos, no cenário 4, do trabalho de Costa (2011) através de programação linear utilizando o modelo de otimização multiobjetivo ORNAP e encontram-se na Tabela 6.7.

Tabela 6.7. Lucro piscícola anual dos reservatórios.

Reservatório	Lucro Piscícola (R\$/ano)
003	30.254,02
044	12.158,39
051	19.747,36
071	27.164,04
072	24.355,95
073	11.119,69
075	8.344,17
132	15.715,52
144	15.575,87
181	64.761,30
184	36.290,66
191	7.192,70
238	20.572,75
248	20.638,89
255	9.881,88
277	9.914,45
401	10.850,42
433	9.074,12
438	17.635,61
628	23.252,45

Fonte: Adaptado de Costa (2011).

No APÊNDICE-A encontram-se descritos, em síntese, os atributos da dimensão financeira.

Tabela 6.8 - Resumo dos critérios segundo a dimensão financeira.

DIMENSÃO	CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	EXPRESSO EM
1. FINANCEIRO	- Custo de Investimento	- Implantação	- Expressa o valor aproximado da construção dos açudes.	- Obtido através de regressão liner utilizando o software Labfit	- R\$
		- Operação	- Expressa os custos anuais na manutenção desses açudes.	- Obtido através de regressão liner utilizando o software Labfit	- R\$/ano
	- Lucratividade	- Lucro agrícola	- Representa a lucratividade obtida com o aumento de água para atendimento à demanda das culturas agrícolas.	- Obtido através de programação linear utilizando o modelo de otimização (ORNAP).	- R\$/ano
		- Lucro piscícola	- Apresenta a criação de peixes como alternativa para geração de renda e como fonte geradora de emprego para a população ribeirinha.	- Obtido através de programação linear utilizando o modelo de otimização (ORNAP).	- R\$/ano

Fonte: Elaboração da autora.

6.1.3.2 Critérios Segundo a Dimensão Social

Um melhor aproveitamento do potencial hídrico dos pequenos açudes poderá refletir nos seguintes efeitos sociais na população local: ampliação da oferta de trabalho e conseqüentemente na renda, aumento da pesca e irrigação, aumento da disponibilidade hídrica para os mais diversos usos e melhora na qualidade da água.

Neste estudo, a dimensão social é composta pelos seguintes critérios e subcritérios:

- 1) Geração de empregos:
 - a) Empregos na agricultura
 - b) Empregos na piscicultura

- 2) Geração de rendas:
 - a) Renda na agricultura
 - b) Renda na piscicultura

- 3) Abastecimento urbano
 - a) Atendimento à demanda

- 4) Expectativa de vida
 - a) Proliferação de doenças de veiculação hídrica

6.1.3.2.1 Geração de Empregos na Agricultura e Piscicultura

O aumento da oferta hídrica para a população assim como para a realização de atividades agrícolas e piscícolas contribui consideravelmente para a geração de empregos. Santos (2009) cita que a geração de empregos se constitui em um dos mais importantes indicadores de desenvolvimento social, além disso, que seu crescimento favorece a melhoria de outros índices sociais, tais como: nível de renda, saúde, educação, lazer, etc.

Foram considerados neste estudo apenas os empregos gerados através das atividades agrícolas e piscícolas.

a) Geração de Empregos na Agricultura

Os empregos relativos à agricultura foram obtidos, no cenário 3, de Costa (2011) através de programação linear utilizando o modelo de otimização ORNAP, conforme a Tabela 6.9.

Tabela 6.9 - Número de empregos gerados por ano na agricultura.

Reservatório	Empregos Agricultura (diária/ano)
003	209.752,83
044	18.165,48
051	19.291,98
071	18.196,84
072	18.066,76
073	17.848,36
075	17.378,03
132	17.960,33
144	19.817,07
181	25.697,58
184	22.505,46
191	16.024,51
238	16.219,04
248	20.957,91
255	17.217,59
277	15.395,86
401	18.016,72
433	17.278,94
438	19.284,34
628	21.784,96

Fonte: Adaptado de Costa (2011).

b) Geração de Empregos na Piscicultura Extensiva.

A geração de empregos na piscicultura obtida, no cenário 4, através de programação linear utilizando o ORNAP em Costa (2011) pode ser visualizada na Tabela 6.10.

Tabela 6.10 - Número de empregos gerados por ano na piscicultura.

Reservatório	Empregos Piscicultura (diária/ano)
003	6,11
044	2,44
051	4,00
071	5,44
072	4,88
073	2,22
075	1,66
132	3,22
144	3,11
181	13,11
184	7,33
191	1,44
238	4,11
248	4,22
255	2,00
277	2,00
401	2,22
433	1,77
438	3,55
628	4,66

Fonte: Adaptado Costa (2011).

6.1.3.2.2 Geração de Renda na Agricultura e Piscicultura Extensiva

O aumento da oferta hídrica para a população e para as atividades agrícolas e piscícolas contribui significativamente para o aumento da geração de empregos, o que consequentemente acarreta na melhoria da renda população.

a) Geração de Renda na Agricultura

A renda gerada da agricultura foi calculada em função do número de diárias do agricultor, do preço das diárias e do ciclo de cada cultura conforme apresentado no plano de cultivo, conforme a equação 6.1:

$$renda = \frac{N^{\circ} \text{ diárias} * \text{preço} * \text{ciclo}}{365} \quad (6.1)$$

A quantidade de diárias foi obtida, no cenário 3, em Costa (2011) através de programação linear utilizando o modelo de otimização ORNAP e o preço de R\$ 26,38 relativo ao valor da diária na agricultura foi obtido através do cálculo do trabalho útil de um agricultor

no mês, com base em 44 horas semanais, considerando o valor do salário mínimo em R\$ 622,00. Na Tabela 6.11 encontra-se a renda anual gerada na agricultura.

Tabela 6.11 - Renda gerada por ano na agricultura.

Reservatório	Renda na Agricultura (R\$/ano)
003	5.533.279,65
044	479.205,36
051	508.922,43
071	480.032,63
072	476.601,12
073	470.839,73
075	458.432,43
132	473.793,50
144	522.744,30
181	677.902,16
184	593.694,03
191	422.726,57
238	427.858,27
248	552.869,66
255	454.200,02
277	406.142,78
401	475.281,07
433	455.818,43
438	508.720,88
628	574.687,24

Fonte: Elaboração da autora

b) Geração de renda na piscicultura extensiva:

O valor da renda na piscicultura foi estimado pela equação 6.2 e, encontra-se na Tabela 6.12:

$$renda = \frac{(Pd * Pr - Cal) * A_{min}}{Ne} \quad (6.2)$$

Onde:

Pd – Produtividade média de pescado por unidade de área

Pr – preço médio do pescado;

Cal – custo de alevinagem por unidade de área;

A_{min} – área mínima da superfície líquida;

Ne – número de empregos gerados na piscicultura.

Foram considerados para a prática de piscicultura extensiva em reservatórios os dados obtidos de Barbosa (2008):

Produtividade média do pescado (Pd) = 500 kg/ha/ano

Preço médio de venda do pescado (Pr) = R\$ 5,00/kg

Custo de alevinagem (Cal) = R\$ 100,00/ha/ano

A área mínima da superfície líquida foi obtida, no cenário 4, em Costa (2011) através de programação linear utilizando o modelo de otimização ORNAP, de acordo com o ANEXO A.

Tabela 6.12 - Renda gerada por ano na piscicultura extensiva.

Reservatório	Renda na Piscicultura (R\$/ano)
003	65.072,62
044	65.116,20
051	64.626,00
071	65.321,08
072	65.229,13
073	67.355,53
075	65.560,62
132	63.851,02
144	65.542,91
181	64.661,42
184	65.328,03
191	65.202,21
238	65.508,14
248	63.996,21
255	68.184,00
277	65.356,33
401	63.920,79
433	66.854,24
438	65.017,44
628	65.236,17

Fonte: Elaboração da autora.

6.1.3.2.3 Abastecimento Urbano

a) Atendimento à Demanda

O benefício obtido com o atendimento à demanda de água no abastecimento de água pode superar o custo ambiental da construção de barragens, uma vez que a falta d'água para a população pode apresentar consequências desastrosas.

O valor de atendimento à demanda foi baseado em Santos (2009) que considera a sustentabilidade hídrica como a melhor forma de representar o atendimento à demanda, obtida

pelo indicador de desempenho das demandas – confiabilidade –, no cenário 4, em Costa (2011) através de simulação utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet. Na Tabela 6.13 encontra-se o valor de atendimento à demanda dos reservatórios.

Tabela 6.13. Valor do atendimento à demanda dos reservatórios.

Reservatório	Atendimento à Demanda (%)
003	97,91
044	94,70
051	95,31
071	77,60
072	97,39
073	100,0
075	97,91
132	94,70
144	94,70
181	95,83
184	100,0
191	97,91
238	94,70
248	95,83
255	97,91
277	96,35
401	98,43
433	97,39
438	98,43
628	94,27

Fonte: Elaboração da autora

6.1.3.2.4 Expectativa de Vida

a) Proliferação de Doenças de Veiculação Hídrica

A elaboração e aplicação de questionários, por meio de entrevista com moradores da região, para avaliação do uso e benefícios proporcionados pelos pequenos açudes aos seus usuários realizados pelo projeto DISPAB/SA identificou que da mesma maneira que muitos moradores lavam suas roupas diretamente nos açudes, os rebanhos vão até os açudes para beberem dessa água. O que faz considerar uma possível contaminação dessa água que pode acarretar na disseminação de doenças de veiculação hídrica.

Dessa forma, para afirmar se houve ou não proliferação de doenças de veiculação hídrica nos açudes foi levada em consideração a possibilidade de contaminação dessa água através da forma que é utilizada, na Tabela 6.14.

Tabela 6.14 - Possibilidade de contaminação da água dos reservatórios.

Reservatório	Possibilidade Contaminação (Sim/Não)
003	Sim
044	Sim
051	Sim
071	Não
072	Sim
073	Sim
075	Sim
132	Sim
144	Sim
181	Sim
184	Sim
191	Sim
238	Não
248	Sim
255	Sim
277	Sim
401	Sim
433	Sim
438	Não
628	Sim

Fonte: Elaboração da autora.

No APÊNDICE - B encontram-se descritos, em síntese, os atributos da dimensão social.

Tabela 6.15 - Resumo dos critérios segundo a dimensão social.

DIMENSÃO	CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	EXPRESSO EM
2. SOCIAL	- Geração de emprego	- Empregos na agricultura	- Informa a quantidade de diárias geradas por ano na agricultura.	- Obtido através de programação linear utilizando o modelo de otimização (ORNAP).	- diárias/ano
		- Empregos na piscicultura	- Informa a quantidade de diárias geradas por ano na piscicultura.	- Obtido através de programação linear utilizando o modelo de otimização (ORNAP).	- diárias/ano
	- Geração de renda	- Renda na agricultura	- Estão relacionadas ao aumento da oferta hídrica para a população e para atividades agrícolas, piscícolas e outras atividades.	$-Renda = \frac{n^{\circ} \text{ diárias} * \text{preço} * \text{ciclo}}{360}$	- R\$/ano
		- Renda na piscicultura		$Renda = \frac{(Pd * Pr - Cal) * Amín}{Ne}$	- R\$/ano
	- Abastecimento humano	- Atendimento à demanda	- O benefício obtido com seu atendimento pode superar o custo ambiental, uma vez que a falta d'água nas cidades pode apresentar consequências desastrosas.	- Obtido através de simulação utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet	- %
- Expectativa de vida	- Proliferação de doenças de veiculação hídrica	- Informa se houve contaminação do corpo d'água por meio da lavagem de roupas feitas diretamente no açude e/ou os animais beberem a água diretamente no açude. Contaminação que pode vir a causar doenças.	- Levado em consideração a possibilidade de contaminação dessa água através da forma que é utilizada.	- Sim/Não	

Fonte: Elaboração da autora.

6.1.3.3 Critérios Segundo a Dimensão Ambiental

O desenvolvimento socioeconômico de uma região é imprescindível, entretanto é do conhecimento de todos que o mesmo acarreta em impactos ambientais que em muitos casos é necessário avaliar até que ponto compensa se desenvolver.

Diversos são os impactos causados ao meio ambiente. Nessa pesquisa foi possível observar: o desmatamento e a possibilidade de erosão que estão intimamente ligados à atividade de exploração agrícola; também é pertinente citar o desmatamento e a inundação para a construção de reservatórios de acumulação que causam sérios danos à flora e à fauna. Cabe aos envolvidos direta ou indiretamente procurar meios de evitar ou amenizar esses danos.

Neste estudo, consideram-se como critérios para análise das alternativas sob a ótica da dimensão ambiental os critérios impactos no meio biótico (conjunto de seres vivos) e meio abiótico (meio físico), que serão subdivididos em subcritérios:

- 1) Impacto no meio biótico
 - a) Danos à fauna
 - b) Danos à flora

- 2) Impacto no meio abiótico
 - a) Possibilidade de erosão
 - b) Poluição hídrica
 - c) Exploração dos recursos naturais

6.1.3.3.1 Impacto no Meio Biótico

• Danos à Fauna e à Flora

De acordo com Santos (2004) a desapropriação de áreas para inundação de reservatórios acarreta em impactos tanto na fauna como na flora, contudo não é possível quantificar com precisão estes impactos para definir, posteriormente, em quanto eles serão minimizados.

Diante do que foi exposto, para análise multicriterial das alternativas serão considerados os impactos na flora e fauna da região, em função da área máxima do açude inundada e da área máxima agrícola (do cenário 1), obtidas em Costa (2011) através de programação linear

utilizando o ORNAP, de acordo com o ANEXO B. A área impactada que causa danos à flora e à fauna encontra-se na Tabela 6.16.

Tabela 6.16 - Área que causa danos à flora e à fauna.

Reservatório	Açu+Aagr (ha)
003	25,4
044	10,1
051	16,0
071	34,3
072	26,6
073	10,1
075	7,1
132	13,5
144	12,3
181	57,3
184	31,1
191	6,1
238	19,7
248	16,2
255	8,5
277	11,0
401	8,4
433	7,5
438	14,3
628	17,6

Fonte: Elaboração da autora.

6.1.3.3.2 Impacto no Meio Abiótico

a) Possibilidade de Erosão

O desmatamento de áreas para cultivo agrícola contribui significativamente para o aumento da erosão do solo, que pode ser minimizada através do uso adequado de técnicas agrícolas, como a introdução de terraços, curvas de nível e rotação de culturas. Cabe ao governo orientar aos agricultores sobre as plantas mais adequadas ao cultivo em suas terras e sobre as técnicas agrícolas mais apropriadas, além de propor aos proprietários da terra os melhores equipamentos e materiais para o uso correto do solo.

A possibilidade de erosão foi estimada em função da área agrícola do cenário 1, ANEXO B, obtida em Costa (2011) através de programação linear utilizando o modelo de otimização ORNAP.

b) Poluição Hídrica

Como já visto, no subcritério *Proliferação de doenças de veiculação hídrica*, em questionário aplicado pelo DISPAB/AS ficou evidente a possibilidade de poluição hídrica no ato de muitos moradores lavarem suas roupas diretamente nos açudes e dos rebanhos beberem diretamente dessa água.

Dessa forma, foi possível afirmar se houve ou não poluição hídrica nos açudes, conforme a Tabela 6.17, levando em consideração a possibilidade de poluição dessa água através da forma que é utilizada.

Tabela 6.17 - Possibilidade de poluição da água dos reservatórios.

Reservatório	Possibilidade de Poluição (Sim/Não)
003	Sim
044	Sim
051	Sim
071	Não
072	Sim
073	Sim
075	Sim
132	Sim
144	Sim
181	Sim
184	Sim
191	Sim
238	Não
248	Sim
255	Sim
277	Sim
401	Sim
433	Sim
438	Não
628	Sim

Fonte: Elaboração da autora.

c) Exploração dos Recursos Naturais

Segundo Cirilo (2010), para que o uso dos recursos naturais, particularmente terra, água e vegetação, ocorra de forma sustentável, é necessário que o processo de desenvolvimento ocorra com preservação da capacidade produtiva desses recursos. Se estes recursos são mal utilizados, a produtividade da agricultura é reduzida, os processos de desertificação avançam,

os ecossistemas e mananciais hídricos tornam-se mais fragilizados, o sustento das populações se reduz, cresce a pobreza e o êxodo para as cidades maiores.

Esse subcritério foi obtido, em Costa (2011), considerando o Índice de Utilização da Potencialidade (IUP) do cenário 3, Tabela 6.27, na análise multicriterial. Ainda de acordo com Cirilo (2010), a potencialidade trata-se de um indicador importante, pois possibilita uma primeira avaliação da carência ou abundância de recursos hídricos de forma espacializada numa dada região.

No APÊNDICE C encontram-se descritos, em síntese, os atributos da dimensão ambiental.

Tabela 6.18. Resumo dos critérios segundo a dimensão ambiental.

DIMENSÃO	CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	EXPRESSO EM
3. AMBIENTAL	- Impacto no meio biótico	- Danos à fauna	- Descreve os impactos causados à fauna devido à inundação de reservatórios.	- É o somatório entre a área máxima do açude e a área máxima da agricultura irrigada.	- ha
		- Danos à flora	- Descreve os impactos causados à flora devido à inundação de reservatórios.	- É o somatório entre a área máxima do açude e a área máxima da agricultura irrigada.	- ha
		- Possibilidade de erosão	- Descreve a contribuição do desmatamento de áreas para o aumento da erosão do solo.	- Estimada em função da área agrícola obtida através de programação linear pelo Modelo de Otimização (ORNAP).	- ha
	- Impacto no meio abiótico	-Poluição hídrica	- Informa se houve poluição do corpo d'água por meio da lavagem de roupas feitas diretamente no açude e/ou os animais beberem a água diretamente no açude.	- Levado em consideração a forma de utilização da água (lavagem da água diretamente e /ou o rebanho bebe água diretamente no açude).	- Sim/Não
		- Exploração dos recursos naturais	- Descreve os efeitos adversos (desmatamento, inundação ou geológicos) que pode causar sob a ótica ambiental.	- Levado em consideração o Índice de Utilização da Potencialidade (IUP), obtido através de programação linear utilizando o modelo de otimização (ORNAP).	- %

Fonte: Elaboração da autora.

6.1.3.4 Critérios Segundo a Dimensão Técnico – Operacional

Na análise técnico-operacional os critérios foram determinados com o propósito de auxiliar na análise do desempenho do sistema hídrico (Bacia do Açude Público de Sumé), fornecendo informações importantes sobre possíveis problemas, além de darem suporte para os decisores demonstrarem seus anseios do ponto de vista técnico-operacional demonstrando a importância dessa dimensão em relação às outras que serão levadas em consideração na análise multicriterial.

Para Costa (2011) os indicadores não somente se nutrem de informações, mas igualmente as produzem, devendo essa perspectiva ser considerada no processo de interpretação. Eles determinam modelos de interpretação da realidade social ou visões do mundo, pois os sentidos trazidos com eles dependem dessas representações sociais.

A avaliação de uma dada realidade por meio de indicadores tem por objetivo caracterizar e acompanhar um dado sistema, dentro de uma realidade conceitual, e dessa forma permitir a quantificação de fenômenos complexos, a simplificação de mecanismos e lógicas atuantes na área considerada, a determinação de como as ações humanas estão afetando seu entorno, alertar para as situações de risco e conseqüente mobilização dos atores envolvidos, prever situações, informar e guiar decisões políticas (Marzall & Almeida, 1999).

Neste estudo, consideram-se como critérios para análise das alternativas sob a ótica da dimensão técnico-operacional os critérios riscos e desempenho dos reservatórios, que serão subdivididos em subcritérios:

- 1) Riscos
 - a) Impactos à jusante;
 - b) Confiabilidade (Conf);
 - c) Resiliência (Res);
 - d) Vulnerabilidade (Vul);
 - e) Sustentabilidade.
- } Índices de Hashimoto *et al.* (1982)
- 2) Desempenho dos reservatórios
 - a) Vazão regularizável com 90% de garantia (Qr90);

b) Índice de Ativação da Potencialidade (IAP), Índice de Utilização da Disponibilidade (IUD) e Índice de Utilização da Potencialidade (IUP);

c) Relação entre a variação volumétrica do reservatório e o volume total afluente (η_{Vr}), relação entre o volume evaporado e a vazão total afluente (η_E), relação entre o volume precipitado sobre o reservatório e a vazão total afluente (η_p), relação entre o vertimento e a vazão total afluente (η_V) e relação entre a água utilizada e a vazão total afluente (η_e).

6.1.3.4.1 Riscos

a) Impactos à Jusante

A construção descomedida de açudes à montante do açude público de Sumé acarreta no desvio da água, reduzindo a vazão ao açude, prejudicando a fauna e a flora, aquática e terrestre, na zona de jusante, podendo, também, provocar alterações no vale para onde essa água foi desviada.

Os impactos à jusante, disponibilizados na Tabela 6.19, podem ser mensurados como a fração de água afluente aos pequenos açudes, mas que não são liberadas à sua jusante, e podem ser obtidos através da equação 6.3:

$$\text{impacto à jusante} = 1 - \eta_V \quad (6.3)$$

Tabela 6.19. Valores do impacto à jusante dos reservatórios.

Reservatório	Impacto à jusante
003	0,33
044	0,11
051	0,28
071	0,20
072	0,09
073	0,10
075	0,13
132	0,09
144	0,20
181	0,42
184	0,28
191	0,26
238	0,71
248	0,22
255	0,26
277	0,29
401	0,16
433	0,17
438	0,30
628	0,02

Fonte: Elaboração da autora.

b) Confiabilidade

Celeste (2006) define confiabilidade (Conf) como a percentagem do tempo em que o sistema funciona sem falhas. Já Andrade (2006) considera a confiabilidade como sendo o oposto do risco e quanto mais próximo de 1 (um) for o seu valor, melhor será a confiabilidade do sistema;

Simplificadamente a confiabilidade pode ser definida como a relação entre o número de eventos em que o sistema se encontra em estado satisfatório e o número de períodos de tempo da simulação.

As confiabilidades do atendimento às potenciais demandas foram obtidas do cenário 3, presente em Costa (2011), através de simulação utilizando o modelo de rede de fluxo Acquonet, e os seus valores encontram-se na Tabela 6.20.

Tabela 6.20 - Indicador confiabilidade dos reservatórios.

Reservatório	Confiabilidade (%)
003	97,91
044	94,70
051	95,31
071	77,60
072	97,39
073	100,0
075	97,91
132	94,70
144	94,70
181	95,83
184	100,0
191	97,91
238	94,70
248	95,83
255	97,91
277	96,35
401	98,43
433	97,39
438	98,43
628	94,27

Fonte: Costa (2011).

c) Resiliência

A resiliência (Res) é a forma como o sistema recupera-se de uma falha, uma vez que esta tenha ocorrido, ou seja, é a probabilidade de haver um estado satisfatório no período $t+1$ dado um valor insatisfatório no período t . Pode ser, ainda, definida como o inverso do valor esperado do tempo em que o sistema permanece em estado insatisfatório. (Celeste, 2006). Segundo Santos (2009) a baixa resiliência é caracterizada por eventos com falhas prolongadas e de baixa recuperação. Um sistema que tenha muitas falhas, mas tende a se recuperar rapidamente é, em alguns casos, preferível a um sistema com poucas falhas, mas de lenta recuperação (Santos, 2011).

A resiliência também é definida como o inverso do valor esperado do tempo em que o sistema permanece em estado insatisfatório.

As resiliências, com relação ao atendimento às potenciais demandas, foram obtidas do cenário 3, em Costa (2011), através de simulação utilizando o modelo de rede de fluxo Acquonet, e os seus valores encontram-se na Tabela 6.21.

Tabela 6.21 - Indicador resiliência dos reservatórios.

Reservatório	Resiliência (%)
003	25,0
044	10,0
051	11,11
071	20,0
072	25,0
073	100,0
075	25,0
132	10,0
144	25,0
181	12,50
184	100,0
191	25,0
238	10,0
248	12,50
255	25,0
277	14,28
401	33,33
433	20,0
438	33,33
628	9,09

Fonte: Costa (2011).

d) Vulnerabilidade

De acordo com Celeste (2006) a vulnerabilidade (Vul) é a magnitude das falhas a que o sistema está sujeito. Quanto maior o déficit hídrico, maior será a vulnerabilidade do sistema (Santos, 2009).

As vulnerabilidades com relação ao atendimento às potenciais demandas foram obtidas do cenário 3, através de simulação utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet, em Costa (2011) e, encontram-se na Tabela 6.22.

Tabela 6.22 - Indicador vulnerabilidade dos reservatórios.

Reservatório	Vulnerabilidade (%)
003	3,51
044	8,75
051	11,69
071	8,33
072	1,43
073	0,0
075	5,33
132	9,16
144	4,75
181	4,75
184	0,0
191	8,72
238	9,47
248	3,84
255	8,20
277	8,85
401	7,64
433	6,77
438	9,20
628	6,96

Fonte: Costa (2011).

e) Sustentabilidade

A sustentabilidade do sistema hídrico é diretamente proporcional a confiabilidade e a resiliência e inversamente proporcional a vulnerabilidade (Santos, 2009), como é mostrado na equação 6.4:

$$\text{Sustentabilidade} = \text{confiabilidade} * \text{resiliência} * [1 - \text{Vulnerabilidade}] \quad (6.4)$$

As sustentabilidades encontradas na Tabela 6.23 foram obtidas, do cenário 3, através de simulação utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet, em Costa (2011).

Tabela 6.23 - Indicador sustentabilidade dos reservatórios.

Reservatório	Sustentabilidade (%)
003	23,61
044	8,64
051	9,34
071	14,22
072	23,99
073	100,0
075	23,17
132	8,60
144	22,55
181	11,40
184	100,0
191	22,34
238	8,57
248	11,51
255	22,47
277	12,53
401	30,30
433	18,27
438	29,78
628	7,97

Fonte: Costa (2011).

6.1.3.4.2 Desempenho dos Reservatórios

a) Qr90

Os reservatórios são capazes de armazenar água nos períodos úmidos e liberar parte do volume armazenado nos períodos de estiagem, tornando disponível uma maior quantidade de água quando esta seria naturalmente menor. A vazão regularizada é a quantidade de água que pode ser fornecida por um reservatório com uma determinada segurança, considerado o período de dados da série histórica de vazões afluentes. Do ponto de vista teórico, a maior vazão que pode ser regularizada é a vazão natural média. Entretanto, a vazão regularizada também é função das condições de operação dos reservatórios, que depende diretamente dos seus usos múltiplos, que pode incluir a geração de energia, abastecimento humano, irrigação e o amortecimento de cheias, entre outros (ANA, 2005). Segundo Leão (2008), em geral essa vazão é associada a uma garantia de ocorrência (ou permanência), que varia em função do uso. Para o Nordeste, tendo em vista a extrema irregularidade do regime pluviométrico, são consideradas garantias variando entre 80 e 95%, com predominância da chamada Qr90.

De acordo com Harris *et al.* (2000), a aplicação do critério de vazão de referência é o procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações para derivações são geralmente feitas a partir de uma vazão de base de pequeno risco. Apresenta como vantagem a simplicidade de sua implementação e a minimização dos riscos de falhas no atendimento das demandas, cuja garantia de atendimento ou de permanência é necessária para que os usuários possam realizar um melhor planejamento de suas atividades e investimentos em seus empreendimentos (Lima & Lanna, 2005). A principal crítica existente a respeito do critério de vazão de referência, em bacias onde a demanda é maior que a oferta, segundo Carvalho *et al.* (2011), está na questão da subutilização da água nos meses em que a vazão natural supera a vazão fixada.

Um dos grandes entraves com relação ao processo de outorga de direito de uso de água é quantificar a vazão máxima a ser liberada para os usuários. O estado da Paraíba possui legislação específica de outorga (Decreto 19.260/97) que estabelece “a soma dos volumes de água outorgados numa determinada bacia não poderá exceder 9/10 da vazão regularizada anual com 90% de garantia” (isto é, somente podem ser outorgados 90% da Q_{r90}), entretanto a legislação não trata da questão de outorga para pequenos açudes, dessa maneira esse estudo determina as vazões referenciais dos 20 reservatórios em análise acreditando que esse valor tem forte influência no processo decisório.

As vazões referenciais dos pequenos açudes foram determinadas através do modelo de simulação Acquanet, que é um modelo de rede de fluxo desenvolvido pelo LabSid da Escola Politécnica da USP e baseado no MODSIM32, programa criado por John Labadie na Colorado State University, e podem ser visualizadas na Tabela 6.24.

Tabela 6.24. Vazões referenciais com 90% de garantia dos reservatórios.

Reservatório	Qr90 (m³/s)
003	0,03
044	0,01
051	0,02
071	0,04
072	0,02
073	0,02
075	0,01
132	0,01
144	0,02
181	0,07
184	0,04
191	0,01
238	0,02
248	0,02
255	0,01
277	0,01
401	0,01
433	0,01
438	0,02
628	0,03

Fonte: Elaboração da autora.

a) IAP, IUP e IUD

• Índice de Ativação da potencialidade – IAP:

Definido como a razão entre a disponibilidade e a potencialidade, ou seja:

$$IAP = \frac{\text{disponibilidade}}{\text{potencialidade}} \quad (6.5)$$

Celeste (2006) relata que Vieira (1996) descreve esse índice, devendo o mesmo sempre ser inferior a 0,8, embora este valor, mesmo nas bacias mais exploradas, do ponto de vista dos recursos hídricos, como a do Rio Jaguaribe (IAP = 0,5) no Ceará, ainda está bastante inferior a 0,8. Bacias hidrográficas com um IAP inferior a 0,6 apresentam possibilidades de aumento da disponibilidade no seu espaço geográfico. Bacias hidrográficas com um IAP superior a 0,6 e nas quais as demandas apresentam-se reprimidas por insuficiência de disponibilidade podem ser supridas através de aportes advindos de transposições de água a partir de outras bacias.

O IAP foi obtido, no cenário 3, através de programação linear utilizando o modelo de otimização multiobjetivo ORNAP em Costa (2011) e encontra-se na Tabela 6.25.

Tabela 6.25 - Indicador de eficiência IAP dos reservatórios.

Reservatório	IAP
003	0,44
044	0,23
051	0,46
071	0,24
072	0,12
073	0,20
075	0,26
132	0,26
144	0,39
181	0,56
184	0,40
191	0,55
238	0,76
248	0,38
255	0,47
277	0,42
401	0,37
433	0,39
438	0,50
628	0,11

Fonte: Costa (2011).

• **Índice de Utilização da Demanda (IUD):**

O IUD é definido como a razão entre a demanda e a disponibilidade. Os valores de IUD superiores à unidade constituem uma preocupação em termos de alocação da água, pois nos anos menos favorecidos em termos de pluviometria, a pressão por disponibilidades para usos consuntivos, advinda de interesses econômicos e políticos será certamente geradora de conflitos de uso (VIEIRA, 1996).

O IUD encontrado na Tabela 6.26 foi obtido, no cenário 3, através de programação linear utilizando o modelo de otimização multiobjetivo ORNAP em Costa (2011).

$$IUD = \frac{\text{demanda}}{\text{disponibilidade}}$$

(6.6)

Tabela 6.26 - Indicador de eficiência IUD dos reservatórios.

Reservatório	IUD
003	0,81
044	0,86
051	0,82
071	0,85
072	0,73
073	0,87
075	0,89
132	0,82
144	0,86
181	0,83
184	0,82
191	0,90
238	0,86
248	0,85
255	0,88
277	0,83
401	0,88
433	0,89
438	0,83
628	0,83

Fonte: Costa (2011).

• **Índice de Utilização da Potencialidade (IUP):**

Razão entre demanda e a potencialidade. É obtida também com o produto de IAP e IUD (Vieira, 1996).

O IUP encontrado na Tabela 6.27 foi obtido, no cenário 3, através de programação linear utilizando o modelo de otimização multiobjetivo ORNAP em Costa (2011).

$$IUP = \frac{\text{demanda}}{\text{potencialidade}}$$

(6.7)

Tabela 6.27 - Indicador de eficiência IUP dos reservatórios.

Reservatório	IUP
003	0,36
044	0,20
051	0,38
071	0,20
072	0,09
073	0,17
075	0,23
132	0,21
144	0,33
181	0,46
184	0,33
191	0,50
238	0,65
248	0,32
255	0,41
277	0,35
401	0,32
433	0,34
438	0,41
628	0,09

Fonte: Costa (2011).

b) η_{Vr} , η_E , η_p e η_V

• η_{Vr}

Relação entre a variação volumétrica do reservatório e o volume total afluente entre o período inicial e final. Esse índice denota a perda ou ganho de volume no reservatório (Barbosa, 2008). Valores negativos indicam depleção do reservatório (e.g.: anos de seca) e positivos o acúmulo/ganho de água no reservatório (Farias, 2009).

A η_{Vr} foi obtida, no cenário 3, através de programação linear utilizando o modelo de otimização multiobjetivo ORNAP em Costa (2011) e encontra-se na Tabela 6.28.

Tabela 6.28. Indicador de eficiência η_{Vr} dos reservatórios.

Reservatório	η_{Vr}
003	0
044	0
051	0
071	0
072	0
073	0
075	0
132	0
144	0
181	0
184	0
191	0
238	0
248	0
255	0
277	0
401	0
433	0
438	0
628	0

Fonte: Costa (2011).

• η_E

Relação entre o volume evaporado e a vazão total afluyente no período de estudo (Barbosa, 2008).

Esse índice, de acordo com Farias (2009), tem como características:

- Estabelecer a eficiência quanto ao armazenamento da água;
- Pode indicar que o reservatório tenha baixa profundidade e grande área do espelho líquido;
- Pode ser usado no estabelecimento de quão rápido a água tenha que ser usada para minorar as perdas evaporativas;
- O Nordeste tem índices que variam de 5% até valores acima de 30%.

A η_E encontrada na Tabela 6.29 foi obtida, no cenário 3, através de programação linear utilizando o modelo de otimização multiobjectivo ORNAP em Costa (2011).

Tabela 6.29 - Indicador de eficiência η_E dos reservatórios.

Reservatório	η_E
003	0,21
044	0,08
051	0,20
071	0,08
072	0,08
073	0,06
075	0,07
132	0,08
144	0,13
181	0,20
184	0,15
191	0,18
238	0,29
248	0,14
255	0,14
277	0,17
401	0,19
433	0,19
438	0,20
628	0,02

Fonte: Costa (2011).

• η_P

Relação entre o volume precipitado sobre o reservatório e a vazão total afluyente no período de estudo. Esse índice indica o percentual de precipitação direta sobre a bacia hidráulica do reservatório (Barbosa, 2008).

Este índice tem como características, segundo Farias (2009):

- Pode indicar que o reservatório tenha baixa profundidade e grande área do espelho líquido;
- Altos índices indicam que a bacia de contribuição é pequena.

A η_P encontrada na Tabela 6.30 foi obtida, no cenário 3, através de programação linear utilizando o modelo de otimização multiobjetivo ORNAP, em Costa (2011).

Tabela 6.30 - Indicador de eficiência η_P dos reservatórios.

Reservatório	η_P
003	0,08
044	0,03
051	0,08
071	0,03
072	0,03
073	0,02
075	0,03
132	0,04
144	0,05
181	0,09
184	0,07
191	0,05
238	0,04
248	0,06
255	0,06
277	0,07
401	0,04
433	0,04
438	0,08
628	0,01

Fonte: Costa (2011).

• η_V

Relação entre o vertimento (sangria do reservatório) e a vazão total afluyente no período de estudo. (Barbosa, 2008).

Esse índice tem como características (Farias, 2009):

- Estabelecer a eficiência quanto ao armazenamento da água (perdas) ou capacidade relativa do reservatório;
- Indica o quanto o reservatório desperdiça a água afluyente por vertimento;

A η_V foi obtida, no cenário 3, através de programação linear utilizando o modelo de otimização multiobjetivo ORNAP em Costa (2011) e, encontra-se na Tabela 6.31.

Tabela 6.31 - Indicador de eficiência η_V dos reservatórios.

Reservatório	η_V
003	0,43
044	0,72
051	0,42
071	0,71
072	0,83
073	0,77
075	0,70
132	0,67
144	0,53
181	0,27
184	0,49
191	0,37
238	0,06
248	0,54
255	0,45
277	0,48
401	0,58
433	0,55
438	0,39
628	0,86

Fonte: Costa (2011).

• η_e

Relação entre a água utilizada (descarregadores, tomadas d'água para abastecimento humano e irrigação) e a vazão total afluyente no período de estudo (Barbosa, 2008).

Para Farias (2009) esse índice tem como características:

- Estabelecer a eficiência quanto ao uso da água;
- Altos índices indicam que existem poucos desperdícios;
- O Nordeste tem índice médio na faixa de 25%.

A η_e encontrada na Tabela 6.32 foi obtida, no cenário 3, através de programação linear utilizando o modelo de otimização multiobjetivo ORNAP em Costa (2011).

Tabela 6.32 - Indicador de eficiência η_e dos reservatórios.

Reservatório	η_e
003	0,36
044	0,20
051	0,38
071	0,20
072	0,09
073	0,17
075	0,23
132	0,21
144	0,33
181	0,46
184	0,33
191	0,50
238	0,65
248	0,12
255	0,41
277	0,35
401	0,32
433	0,34
438	0,43
628	0,09

Fonte: Costa (2011).

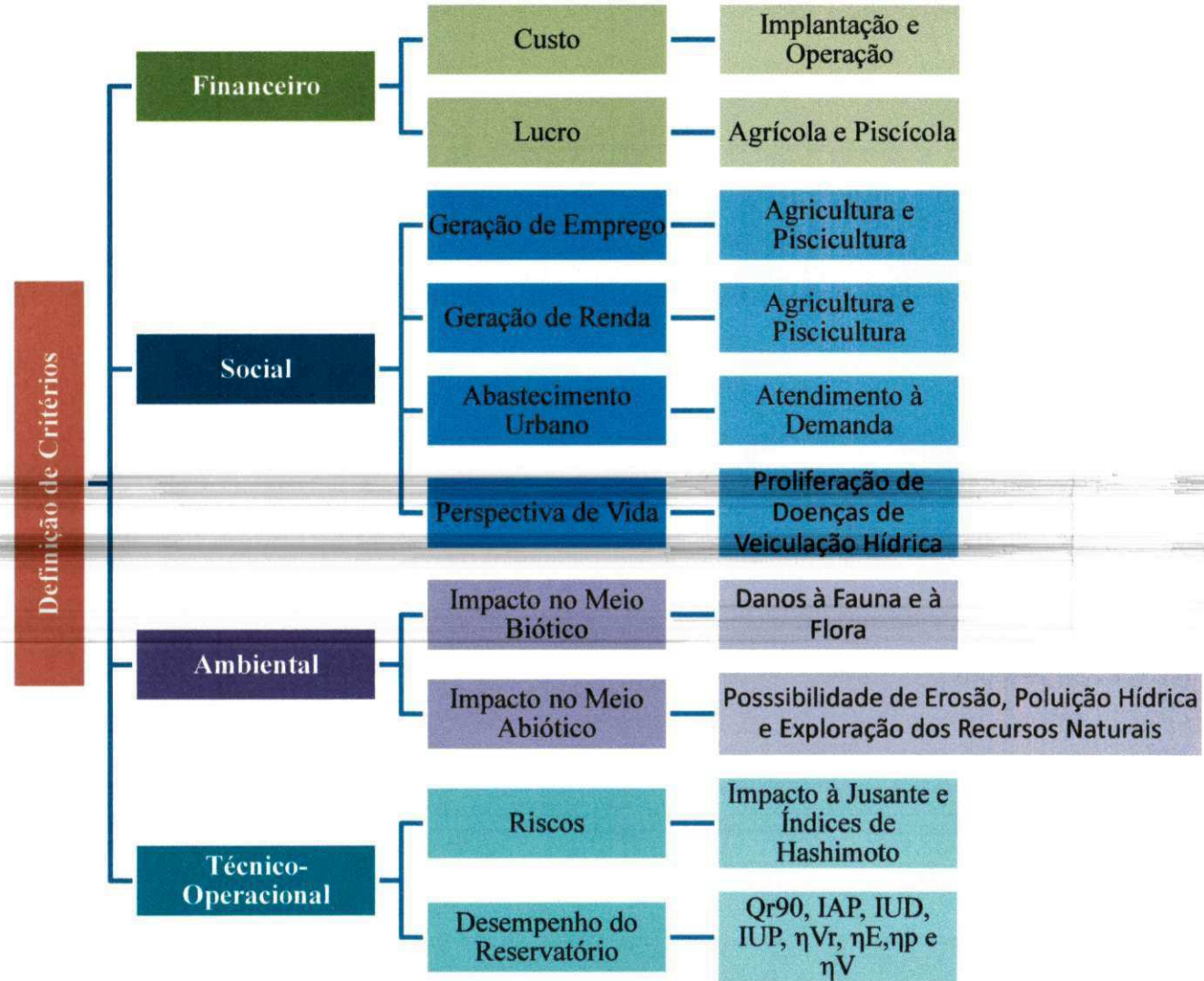
No APÊNDICE D encontram-se descritos, em síntese, os atributos da dimensão técnico-operacional.

Tabela 6.33 - Resumo dos critérios segundo a dimensão técnico-operacional.

DIMENSÃO	CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	FORMA DE CALCULAR	EXPRESSO EM
4. TÉCNICO-OPERACIONAL	- Riscos	- Impactos à jusante.	- Volume retirado de jusante.	- $(1 - \eta_V)$	-
		- Índices de Hashimoto (Confiabilidade, Resiliência e Vulnerabilidade).	- Representam as características das falhas de cada sistema.	- Obtidos através da utilização de simulação utilizando o modelo de rede de fluxo Acquanet.	- %
		- Qr90	- Vazão regularizada anual com 90% de garantia.	- Obtida no modelo de rede de fluxo Acquanet.	- %
	- Indicadores de eficiência e sustentabilidade do reservatório.	- Relações entre a potencialidade, disponibilidade e o uso da água dos reservatórios (IAP, IUD e IUP);	- Relações percentuais entre afluxos, disponibilidade e uso da água no reservatório.	- Obtidos através da utilização de programação linear utilizando o modelo de otimização ORNAP.	- %
		- Indicadores hídricos relativos a a variabilidade volumétrica, evaporação, precipitação e vertimento no reservatório (η_{Vr} , η_E , η_p , η_V e η_e)	- Relações percentuais da variabilidade volumétrica, precipitação, evaporação e vertimento anuais relativo aos afluxos.	- Obtidos através da utilização de programação linear utilizando o modelo de otimização ORNAP.	- %

Fonte: Elaboração da autora.

Figura 6.3 – Resumo das dimensões, critérios e subcritérios considerados na análise multicriterial.



Fonte: Elaboração da autora.

6.1.4 Determinação dos Pesos dos Critérios

A ponderação do critério na análise multicriterial é dada pelo seu peso. 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 (Santos, 2009).

Dessa forma, nesta etapa, inicialmente, foi criado no Google Docs um questionário com base nas alternativas e critérios previamente definidos. O questionário foi estruturado segundo o método PROMETHEE, e encontra-se no Apêndice E.

Após a elaboração do questionário efetuou-se uma pesquisa detalhada no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESA), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal do Ceará (UFC) e na Plataforma Lattes, visando encontrar profissionais especialistas, nas diversas áreas da análise multicriterial e de recursos hídricos, que fariam o papel de decisores, entre eles técnicos, alunos e ex-alunos de pós-graduação, e professores.

Após selecionar 59 decisores, os questionários foram encaminhados por e-mail juntamente com uma carta de apresentação, na qual continha uma explicação da pesquisa e fornecia meios para entrar em contato em caso de alguma dúvida ou informação adicional. Dos 59 questionários enviados aos decisores apenas obteve-se resposta de 14 decisores, o que significa uma taxa de retorno de aproximadamente 24% que pode ser considerado um número razoável, dado que para VIEIRA *et al.* (2010), questionários que são enviados para os entrevistados alcançam em média 25% de devolução. Os motivos do não retorno das respostas aos questionários podem ter diferentes naturezas particulares, tais como: falta de tempo ou interesse, esquecimento, incompatibilidade de softwares, entre outros.

Dos 14 questionários respondidos pelos decisores só foram escolhidos 10 para realização da análise multicriterial, os outros questionários não foram completamente preenchidos pelos decisores. A adoção de um questionário estruturado visa à definição de pesos para os critérios antes da aplicação dos métodos multicriteriais. Logo, o objetivo deste questionário foi de estabelecer, de forma isenta de tendências, o grau de importância relativa que os critérios teriam em relação aos demais.

Os pesos foram representados de forma hierárquica, em três níveis de importância: um relativo às dimensões financeira, social, ambiental e técnico-operacional para uma

representação mais generalizada que objetiva caracterizar as opiniões dos decisores envolvidos; o segundo nível é atinente aos critérios e, por fim, o último nível referente aos subcritérios.

Os decisores avaliaram os critérios a partir de julgamentos subjetivos (nenhum, baixo, alto, muito alto e sem opinião formada) que em seguida foram convertidos em escala numérica de acordo com a Tabela 6.34. O julgamento “nenhuma opinião formada” não está presente na Tabela 6.34 porque ao analisar as respostas dos 10 decisores escolhidos foi observado que essa alternativa não foi marcada em nenhuma das questões.

Na síntese dos julgamentos os pesos dos critérios foram considerados iguais, ou seja, como o fator de ponderação (FP) será o mesmo para os 4 critérios, se tem que:

$$FP = \frac{1}{n^{\circ} \text{ de critérios}} \therefore FP = 0,25$$

Tabela 6.34. Conversão de escala verbal em escala numérica e fator de ponderação.

Grau de Importância	Escala Numérica	Fator de Ponderação
Nenhum	0	0
Baixo	1	0,25
Médio	2	0,50
Alto	3	0,75
Muito Alto	4	1

Fonte: Elaboração da autora.

Após a atribuição dos pesos, foi realizada a normalização das medidas, dividindo cada peso pela soma total dos pesos atribuídos por um decisor, de modo que a soma dos pesos normalizados fosse igual a um. Os pesos dos critérios normalizados, nos três níveis de importância, atribuídos pelos 10 decisores encontram-se nos APÊNDICES F, G, H, I, J, K, L, M, N e O. Na Tabela 6.35 tem-se os pesos dos critérios atribuídos por cada decisor ao nível 3 de importância, dos subcritérios.

Na Tabela 6.35 não consta o subcritério *ne* e o seu respectivo peso referente a cada decisor pelo fato de ter sido excluído da análise multicriterial, apesar do subcritério constar nos questionários enviados aos decisores. Tal medida foi tomada para atender a condição da *não redundância de critérios*, já que o *ne* estaria avaliando características já avaliadas pelo subcritério IUP.

Tabela 6.35. Pesos dos critérios normalizados atribuídos por cada decisor.

Subcritérios	Decisores									
	I	II	III	IV	V	VI	VI	VIII	IX	X
Custo de Implantação	0,06593	0,10000	0,05455	0,05357	0,06250	0,10800	0,04000	0,09000	0,07535	0,07143
Custo de Operação	0,08791	0,06667	0,03636	0,05357	0,06250	0,07200	0,06000	0,03000	0,05651	0,07143
Lucro Agrícola	0,03077	0,02778	0,03636	0,05357	0,06250	0,07200	0,05000	0,02667	0,04945	0,05357
Lucro Piscícola	0,04615	0,02778	0,05455	0,05357	0,06250	0,04800	0,05000	0,05333	0,04945	0,05357
Emprego na Agricultura	0,02198	0,05556	0,02078	0,02296	0,03333	0,03000	0,03077	0,03750	0,02840	0,03125
Emprego na Piscicultura	0,02930	0,02778	0,03117	0,02296	0,02222	0,03000	0,03077	0,03750	0,01893	0,03125
Renda na Agricultura	0,02564	0,02083	0,02078	0,02296	0,03333	0,03600	0,04103	0,02500	0,04260	0,03125
Renda na Piscicultura	0,05128	0,02083	0,03117	0,02296	0,02222	0,02400	0,04103	0,05000	0,02840	0,03125
Atendimento à Demanda	0,10256	0,12500	0,07792	0,06122	0,08333	0,09000	0,04103	0,07500	0,09467	0,06250
Proliferação de Doenças	0,07692	0,08333	0,00000	0,06122	0,05556	0,09000	0,08205	0,07500	0,09467	0,06250
Danos à Fauna	0,07912	0,05926	0,09091	0,07143	0,06250	0,04000	0,06667	0,01667	0,06923	0,06250
Danos à Flora	0,05934	0,02963	0,09091	0,07143	0,06250	0,06000	0,06667	0,03333	0,06923	0,06250
Possibilidade de Erosão	0,02308	0,04444	0,06061	0,04762	0,04167	0,03750	0,04444	0,02500	0,02769	0,03750
Poluição hídrica	0,02308	0,06667	0,06061	0,04762	0,04167	0,03750	0,04444	0,07500	0,03692	0,05000
Exploração de RN's	0,04615	0,02222	0,06061	0,04762	0,04167	0,02500	0,04444	0,05000	0,02769	0,03750
Impacto a Jusante	0,02885	0,03636	0,00000	0,03061	0,01786	0,02400	0,02286	0,01667	0,03846	0,03125
Confiabilidade	0,02163	0,02424	0,02922	0,02296	0,02679	0,02400	0,02286	0,03333	0,01923	0,02344
Resiliência	0,02163	0,02424	0,02922	0,02296	0,02679	0,02400	0,02286	0,03333	0,01923	0,02344
Vulnerabilidade	0,02163	0,02424	0,02922	0,02296	0,02679	0,02400	0,02286	0,03333	0,01923	0,02344
Sustentabilidade	0,02163	0,02424	0,02922	0,02296	0,02679	0,02400	0,02286	0,03333	0,01923	0,02344
[Qr90]	0,00577	0,00889	0,01113	0,02041	0,01563	0,01000	0,03208	0,00682	0,01099	0,01786
[IAP]	0,00577	0,00889	0,03340	0,02041	0,01563	0,01000	0,02406	0,01364	0,02198	0,01190
[IUD]	0,01731	0,01333	0,03340	0,02041	0,01563	0,01000	0,03208	0,02045	0,01648	0,02381
[IUP]	0,00577	0,01333	0,02226	0,02041	0,01563	0,01000	0,02406	0,02045	0,01648	0,02381
[ηVr]	0,02308	0,01778	0,02226	0,02041	0,01563	0,01000	0,01604	0,02045	0,01648	0,01190
[ηE]	0,02308	0,01333	0,01113	0,02041	0,01563	0,01500	0,00802	0,02727	0,01099	0,01190
[ηp]	0,01731	0,00889	0,01113	0,02041	0,01563	0,00500	0,00802	0,01364	0,01099	0,01190
[ηV]	0,01731	0,00444	0,01113	0,02041	0,01563	0,01000	0,00802	0,02727	0,01099	0,01190

Fonte: Elaboração da autora.

As funções de preferência utilizadas no método PROMETHEE expressam a essência da preferência de uma alternativa sobre a outra com relação a cada atributo. A definição dos limiares de preferência (p) e indiferença(q) são requisitos para a aplicação do método PROMETHEE II, uma vez que essas funções expressam as imprecisões e incertezas associadas aos dados e informações, sobre os quais se fundamenta o processo de avaliação. Eles permitem, assim, integrar dados e informações pouco confiáveis e/ou precisos, desta maneira os parâmetros das funções possibilitarão a correção destes erros. Para isso, foram definidas as funções de preferências para cada subcritério e calculado os seus respectivos valores de “p” e “q”, no intuito de melhor modelar as preferências dos decisores, para cada dimensão.

- Dimensão Financeira

Para todos os subcritérios de dimensão financeira foi utilizada a função do tipo V referente à preferência linear. Essa função costuma ser utilizada, na análise multicriterial, em critérios que tenham atributos financeiros. É importante ressaltar que no cálculo do limiar de indiferença “q” de todos os subcritérios da dimensão financeira foi considerado um erro de estimativa (tolerância) de 20%.

Considerando os custos de implantação e operação como variáveis as quais objetivam ser minimizadas, quando o desvio entre suas alternativas (*Reservatório 003*, *Reservatório 044* – por exemplo) assumir valor maior que o parâmetro p_i , a função de preferência assume valor 0, ou seja, a alternativa *Reservatório 003* não é preferível a alternativa *Reservatório 044*; quando $q_i < \text{desvio} < p_i$ a intensidade da preferência da alternativa *Reservatório 003* aumenta linearmente sobre a alternativa *Reservatório 044*; e quando o desvio for menor que q_i , a alternativa *Reservatório 003* é preferível a *Reservatório 044*.

Os subcritérios lucro agrícola e lucro piscícola quando considerados como variáveis objetivam ser maximizados. Quanto à justificativa da utilização da função tipo V, segue o mesmo raciocínio dos subcritérios custo de implantação e custo de operação.

Na Tabela 6.36 encontram-se as funções de preferência e os parâmetros dos atributos da dimensão financeira.

Tabela 6.36 - Modelagem de preferência dos atributos da dimensão financeira, conforme PROMETHEE.

Dimensão	Subcritérios	Métrica e Unidade	Min ou Max	Função de Preferência		
				Tipo	q_i	p_i
Financeira	Custo de Implantação	R\$	Min	V	5721,374	28606,87
	Custo de Operação	R\$/ano	Min	V	286,068	1430,34
	Lucro Agrícola	R\$/ano	Max	V	101736,81	508684,03
	Lucro Piscicultura extensiva	R\$/ano	Max	V	11513,72	57568,6

Fonte: Elaboração da autora.

- Dimensão Social:

Na dimensão social, para os subcritérios emprego na agricultura, emprego na piscicultura e atendimento à demanda foi utilizada a função do tipo II.

Considerando o emprego na agricultura, emprego na piscicultura e atendimento à demanda como variáveis as quais objetivam ser maximizadas, quando o desvio entre suas

alternativas (*Reservatório 003*, *Reservatório 044* – por exemplo) forem maiores que q_i a função de preferência é igual a “1” e a alternativa *Reservatório 003* tem preferência absoluta sobre a alternativa *Reservatório 044*; quando o intervalo delimitado por desvio $< q_i$, é caracterizada uma região de indiferença com relação a preferência da alternativa *Reservatório 003* sobre a alternativa *Reservatório 044*; a função de preferência assume o valor “0”.

Para o subcritério proliferação de doenças de veiculação hídrica foi utilizada a função tipo I, referente à preferência usual. Neste caso, não há a necessidade de definição dos limites de preferência. Considerando esse subcritério como variável que objetiva ser minimizada, se o desvio entre as alternativas *Reservatório 003* e *Reservatório 044* for menor que zero, isto é, para a alternativa *Reservatório 003* esse critério assumir menor valor, a função de preferência assume valor “1”, neste caso a alternativa *Reservatório 044* é preferível a alternativa *Reservatório 003*. Caso contrário, a função de preferência é um e não existe preferência absoluta da alternativa *Reservatório 044* sobre *Reservatório 003*.

Os subcritérios renda na agricultura e renda na piscicultura utilizaram a função do tipo V referente à preferência linear. A justificativa para seu uso é a mesma dada aos subcritérios de dimensão financeira. Esses subcritérios foram considerados como variável que objetiva ser maximizada.

É importante ressaltar que no cálculo do limiar de indiferença “q” de todos os subcritérios da dimensão social foi considerado um erro de estimativa (tolerância) de 20%.

Na Tabela 6.37 encontram-se as funções de preferência e os parâmetros dos atributos da dimensão social.

Tabela 6.37 - Modelagem de preferência dos atributos da dimensão social, conforme PROMETHEE.

Dimensão	Subcritérios	Métrica e Unidade	Min ou Max	Tipo	Função de Preferência	
					q_i	p_i
Social	Emprego na Agricultura	diária/ano	Max	II	38871,394	-
	Emprego na Piscicultura	diária/ano	Max	II	2,334	-
	Renda na Agricultura	R\$/ano	Max	V	1025427,4	5127136,9
	Renda na Piscicultura	R\$/ano	Max	V	866,596	4332,98
	Atendimento à Demanda	%	Max	II	0	-
	Proliferação de Doenças de Veiculação Hídrica	Sim/Não	Min	I	-	-

Fonte: Elaboração da autora.

• Dimensão Ambiental:

Na dimensão ambiental, para os subcritérios danos à flora, danos à fauna, possibilidade de erosão e exploração dos recursos naturais foi utilizada a função do tipo II. A justificativa para utilização da função tipo II é a mesma dada para os subcritérios de emprego na agricultura, emprego na piscicultura e atendimento à demanda, pertencentes à dimensão social. Aqueles subcritérios foram considerados como variáveis que objetivam ser minimizadas.

Para o subcritério poluição hídrica foi utilizado a função do tipo I referente à preferência usual. A justificativa para seu uso é a mesma dada ao subcritério proliferação de doenças de veiculação hídrica, pertencente à social. Esse subcritério foi considerado como variável que objetiva ser minimizada.

É importante ressaltar que no cálculo do limiar de indiferença “q” de todos os subcritérios da dimensão ambiental foi considerado um erro de estimativa (tolerância) de 30%.

Na Tabela 6.38 encontram-se as funções de preferência e os parâmetros dos atributos da dimensão ambiental.

Tabela 6.38 - Modelagem de preferência dos atributos da dimensão ambiental, conforme PROMETHEE.

Dimensão	Subcritérios	Métrica e Unidade	Min ou Max	Tipo	Função de Preferência	
					q_i	p_i
Ambiental	Danos à Flora	ha	Min	II	15,36	-
	Danos à Fauna	ha	Min	II	15,36	-
	Possibilidade de Erosão	ha	Min	II	0	-
	Poluição Hídrica	Sim/Não	Min	I	-	-
	Exploração dos Recursos Naturais	%	Min	II	10,2	-

Fonte: Elaboração da autora.

• Dimensão Técnico-Operacional:

Para todos os subcritérios de dimensão técnico-operacional foi utilizada a função do tipo II. A justificativa para utilização da função tipo II é a mesma dada para os subcritérios de emprego na agricultura, emprego na piscicultura e atendimento à demanda, pertencentes à dimensão social, e aos subcritérios danos à flora, danos à fauna, possibilidade de erosão e exploração dos recursos naturais, oriundos da dimensão ambiental. Os subcritérios da

dimensão técnico-operacional impacto à jusante, ηV_r , ηE , ηp e ηV foram considerados como variáveis que objetivam ser minimizadas, enquanto que a confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade, sustentabilidade, $Qr90$, IAP, IUP e IUD objetivam ser maximizados.

É importante ressaltar que no cálculo do limiar de indiferença “q” dos subcritérios da dimensão financeira, para o impacto à jusante e $Qr90$ foi considerado um erro de estimativa (tolerância) de 20%, enquanto que para o restante dos subcritérios foi adotada uma tolerância de 30%.

Na Tabela 6.39 encontram-se as funções de preferência e os parâmetros dos atributos da dimensão técnico-operacional.

Tabela 6.39 - Modelagem de preferência dos atributos da dimensão técnico-operacional, conforme PROMETHEE.

Dimensão	Subcritérios	Métrica e Unidade	Min ou Max	Função de Preferência		
				Tipo	q_i	p_i
Técnico-Operacional	Impacto à jusante	-	Min	II	0,138	-
	Confiabilidade	%	Max	II	0	-
	Resiliência	%	Max	II	0	-
	Vulnerabilidade	%	Max	II	0	-
	Sustentabilidade	%	Max	II	0	-
	$Qr90$	m^3/s	Max	II	0,0129118	-
	IAP	-	Max	II	0,195	-
	IUD	-	Max	II	0,051	-
	IUP	-	Max	II	0,168	-
	ηV_r	-	Min	II	0	-
	ηE	-	Min	II	0,081	-
	ηp	-	Min	II	0,03	-
ηV	-	Min	II	0,24	-	

Fonte: Elaboração da autora.

6.1.5 Agregação dos Critérios

Após definir as funções de preferências de cada subcritério, o passo seguinte consistiu no cálculo dos índices de preferência multicritério dos 20 reservatórios para cada decisor, ou seja, na soma das intensidades de preferência de cada critério multiplicado pelos respectivos pesos. Com os índices de preferência calculados, segue-se o cálculo dos fluxos de sobreclassificação positivo e negativo, Tabela 6.40. Os fluxos positivos e negativos dos demais decisores encontram-se nos APÊNDICES P, Q, R S, T, U, V, W e X.

De posse desses valores, o fluxo líquido (Tabela 6.41), que representa o balanço entre o poder e a fraqueza de cada alternativa analisada, pode ser calculado. Faz-se, então, uso do

método PROMETHEE II, o qual, através da diferença entre os fluxos positivo e negativo, estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas avaliadas. Assim, o que se estabelece como resultado da aplicação do Modelo Multicritério de Apoio a Decisão é a ordenação das alternativas, estando ordenadas da melhor a pior.

Tabela 6.40 – Fluxos de importância positivos e negativos referentes ao Decisor I.

	3	44	51	71	72	73	75	132	144	181	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628	ϕ^+
3	-	0,3875	0,5589	0,5319	0,46	0,3044	0,2117	0,5393	0,552	0,5575	0,4714	0,2717	0,554	0,5613	0,4304	0,4669	0,1802	0,2489	0,5251	0,5004	8,31359568
44	0,4077	-	0,4293	0,4472	0,4423	0,425	0,4254	0,4742	0,425	0,4077	0,425	0,4133	0,4561	0,4287	0,4098	0,4371	0,4299	0,425	0,4293	0,4899	8,22785065
51	0,425	0,4322	-	0,4178	0,3846	0,3673	0,3908	0,4322	0,4293	0,425	0,425	0,4427	0,4768	0,425	0,4262	0,4319	0,3846	0,3846	0,425	0,4322	7,95826161
71	0,5135	0,3602	0,2909	-	0,5019	0,292	0,2993	0,2817	0,3924	0,551	0,525	0,3063	0,4784	0,4424	0,2758	0,3608	0,3004	0,2972	0,1477	0,2063	6,82317785
72	0,451	0,4031	0,4942	0,5115	-	0,3176	0,3636	0,5191	0,4726	0,4942	0,4077	0,1941	0,4942	0,4997	0,3448	0,3887	0,3287	0,3672	0,4293	0,5115	7,99279861
73	0,5325	0,5318	0,5218	0,5288	0,5475	-	0,5253	0,5506	0,5082	0,5213	0,4249	0,5133	0,5087	0,5484	0,4942	0,5116	0,5495	0,5115	0,516	0,5301	9,87598103
75	0,425	0,5115	0,5125	0,5115	0,4639	0,425	-	0,5413	0,4683	0,4904	0,4423	0,451	0,4942	0,5002	0,451	0,5288	0,4581	0,5115	0,4466	0,5288	9,16216534
132	0,4077	0,425	0,4293	0,4466	0,4423	0,425	0,425	-	0,425	0,4077	0,425	0,4077	0,451	0,425	0,425	0,4258	0,425	0,425	0,4293	0,4726	8,14504265
144	0,425	0,4899	0,4906	0,5122	0,4538	0,4077	0,4472	0,5021	-	0,4512	0,425	0,4739	0,4778	0,4783	0,4705	0,4978	0,4578	0,4957	0,4466	0,4538	8,8570536
181	0,3001	0,3508	0,3537	0,304	0,2392	0,2682	0,298	0,3457	0,2725	-	0,2488	0,3404	0,4066	0,2085	0,328	0,3827	0,2725	0,2804	0,3205	0,3139	5,83460738
184	0,5115	0,2252	0,407	0,4861	0,5204	0,1483	0,2373	0,2292	0,424	0,5115	-	0,3144	0,553	0,5576	0,302	0,3105	0,2602	0,2601	0,2714	0,3329	6,86270582
191	0,4423	0,4942	0,5288	0,5014	0,4466	0,3904	0,4365	0,5187	0,4524	0,5072	0,4481	-	0,4942	0,5007	0,425	0,5288	0,4369	0,4899	0,4639	0,4495	8,95582726
238	0,4442	0,2813	0,443	0,3428	0,4385	0,2769	0,3114	0,2845	0,4212	0,4615	0,4212	0,3084	-	0,4307	0,2767	0,2796	0,2878	0,3093	0,3212	0,4861	6,82616154
248	0,425	0,496	0,5142	0,461	0,4454	0,4167	0,4693	0,5203	0,47	0,451	0,425	0,4987	0,5088	-	0,4582	0,4696	0,4494	0,4878	0,45	0,4538	8,87028521
255	0,4755	0,5095	0,5687	0,5353	0,4602	0,3904	0,4452	0,5628	0,4729	0,5292	0,4717	0,4996	0,521	0,539	-	0,5406	0,4752	0,4968	0,4807	0,463	9,43725591
277	0,425	0,4207	0,5115	0,4063	0,3846	0,3673	0,3558	0,4518	0,4466	0,4899	0,425	0,425	0,4942	0,4972	0,425	-	0,4161	0,4077	0,4466	0,4322	8,22853285
401	0,5072	0,5115	0,5288	0,5115	0,5188	0,425	0,4899	0,5288	0,4899	0,4726	0,4423	0,5161	0,4984	0,4899	0,5126	0,5183	-	0,4899	0,4683	0,4553	9,37523556
433	0,4558	0,5244	0,549	0,4998	0,4651	0,4308	0,4313	0,5605	0,4532	0,5095	0,4521	0,4596	0,5022	0,5194	0,4466	0,5417	0,4772	-	0,4783	0,5053	9,26189122
438	0,5899	0,3322	0,6115	0,4611	0,5495	0,4673	0,5322	0,5366	0,5726	0,5899	0,525	0,5766	0,4977	0,5922	0,5904	0,5961	0,4592	0,5495	-	0,5322	10,3617431
628	0,4158	0,4677	0,4513	0,4919	0,4705	0,4832	0,4869	0,4823	0,4229	0,4083	0,4086	0,4975	0,4632	0,419	0,4913	0,497	0,4882	0,465	0,452	-	8,76281065
ϕ	0,5702	0,3549	0,1955	0,9088	6,6352	7,0285	7,5824	8,8617	8,5709	9,2365	8,2391	7,9102	9,3306	9,0634	7,9834	8,7144	7,5369	7,903	7,9479	8,55	ϕ

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 6.41 – Fluxo líquido das alternativas referente a cada decisor.

Alternativa	Fluxo Líquido (ϕ)									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
003	-0,2661557	0,4119944	0,76134859	0,21083502	0,86750506	0,46391388	1,0139667	1,1446027	0,27898632	0,47583935
044	-0,127043	-0,6291974	-1,0539835	-0,5817733	-0,8565478	-0,6728399	-1,0395349	-1,7199619	-0,3877925	-0,6524697
051	-1,2372423	-1,4767812	-1,0703268	-1,2897552	-1,3864171	-1,2717846	-1,3036525	-1,9894773	-1,0794612	-1,2736326
071	-2,0856222	-0,8435165	-3,2145508	-1,6039123	-1,9657894	-1,627608	-1,0524111	-0,2359013	-1,5259677	-1,7082965
072	-0,6424159	-0,4281952	-1,6782246	-1,1914453	-0,8716546	-0,6416148	-1,6410694	-0,2955138	-1,2927485	-1,0993138
073	2,84752745	2,39440662	2,56358984	2,21583287	2,39794828	2,25084067	1,90129466	2,57012282	2,01540527	2,27730309
075	1,5797959	1,17205399	1,4505814	1,23519237	1,18184117	1,01568195	0,85631142	0,828853	1,11702846	1,16807612
132	-0,7166959	-1,0972042	-1,6533447	-1,1069676	-1,3943648	-1,1958506	-1,6346508	-2,2086592	-0,9144504	-1,22793
144	0,28615887	-0,0857692	0,5784807	0,29832154	0,22765616	-0,0327784	0,08368952	-0,0856499	0,11996968	0,1317863
181	-3,40194	-2,579709	-3,058425	-2,7901518	-2,1695025	-1,8705002	-2,0425731	-1,3428289	-2,9091124	-2,2747608
184	-1,3763616	-0,9549799	-0,0480816	-0,5495953	-0,1396938	-0,6568459	-0,0675629	0,74710338	-1,2614777	-0,5795324
191	1,04563824	0,67775918	1,61484086	1,02617634	0,90418934	0,62446251	0,79605209	0,63070525	0,899985	0,92898351
238	-2,504484	-1,3845198	-1,8117859	-1,6759731	-2,0550626	-1,7424446	-0,8112331	-1,4372832	-0,8927925	-1,7186952
248	-0,1930771	-0,3924668	0,09324397	-0,0406516	-0,0793105	-0,1346678	-0,1707481	-0,6177593	-0,1505234	-0,1222451
255	1,45389998	0,73513405	1,85448379	1,08814578	1,03684577	0,8168055	1,15926995	1,10770221	1,04574156	1,09298969
277	-0,4858879	-0,7746134	-0,3524607	-0,805922	-0,8106931	-0,7614561	-0,9001343	-1,2907869	-0,6020172	-0,7695058
401	1,83836922	1,56572257	2,23169278	1,8120624	1,84020147	1,58850223	1,36785425	1,5360457	1,54352126	1,66635721
433	1,35866447	0,70509278	1,38062508	1,03363127	0,88562709	0,70681157	0,78163984	0,61796485	0,96027331	0,9474407
438	2,41383191	3,2924987	2,48451864	2,65503305	2,60115861	3,03881434	3,00778174	3,45869148	3,02924037	2,75064314
628	0,21283753	-0,3077097	-1,072222	0,06091686	-0,2139367	0,1025582	-0,3042899	-1,4179697	0,00619227	-0,0130372

Fonte: Elaboração da autora.

CAPÍTULO VII

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação da análise comparativa dos pequenos açudes à montante do açude de Sumé através do uso de métodos multicriterial e multidecisor

7.1 Análise da Aplicação do Método Multicriterial PROMETHEE II

Com os valores atribuídos para os pesos dos critérios de avaliação considerados pelos decisores foi possível realizar os julgamentos individuais das alternativas (açudes), fazer estimativas referentes à avaliação das alternativas com relação aos critérios, aplicar as funções de preferência e respectivos parâmetros ao método PROMETHEE II para obtenção das diferenças de desempenho entre cada par de alternativas, dessa forma estabelecendo a ordenação das alternativas.

O método utilizado, de acordo com a preferência de cada decisor, gerou a ordenação das alternativas (açudes), do melhor para pior desempenho em termos de potencial de uso de suas águas e impactos, conforme mostrado na Tabela 7.1.

Com os resultados fornecidos pelo PROMETHEE II foi possível verificar os açudes que apresentaram melhor ou pior potencial hídrico de acordo com cada decisor. Observando os resultados da Tabela 7.1 o açude 438 e o açude 073 ocupam a 1ª e 2ª posição, respectivamente, de acordo com o julgamento de oito decisores. E de forma unânime encontra-se ordenado o açude 401, na 3ª posição. Com isso é possível dizer que de acordo com a opinião dos dez decisores os três melhores açudes foram 438, 073 e 401, considerando os impactos e benefícios do uso das suas águas.

Os açudes 075, 255, 433, 191, 003, 144, 628, 248, 072, 044, 277 e 132 encontram-se ordenados, respectivamente, na 4ª, 5ª, 6ª, 7ª, 8ª, 9ª, 10ª, 11ª, 12ª, 13ª, 14ª e 15ª. Na 16ª posição encontram-se empatados os açudes 051 e 132.

Ordenado na 17ª posição, por maioria dos decisores, encontra-se o açude 051. Nessa posição também se observa uma empate entre o julgamento do decisores no que diz respeito aos açude 132 e 184. Analisando os açudes que foram ordenados da 4ª até a 17ª posição nota-se de forma mais evidente que as preferências dos decisores, estabelecidas para cada critério,

foram consideravelmente diferentes. Nas três últimas posições encontram-se ordenados os açudes 071, 238 e 181, respectivamente.

Ao comparar os 20 açudes se baseando na ordenação obtida pelo método PROMETHEE, observando a capacidade de armazenamento desses açudes na Tabela 3.2, exatamente os açudes, 238 e 181, que mostraram pior potencial hídrico são os que apresentam um alto valor na capacidade de armazenamento de água. Este fato pode estar relacionado, principalmente, em decorrência do excesso de vertimento e das altas taxas de evaporação da região. Entretanto, não é possível dizer que os açudes que apresentam menor capacidade de armazenamento são aqueles que exibiram melhor potencial hídrico na análise multicriterial. Conforme esperado, a ordenação dos açudes para cada decisor, segundo o seu desempenho caracterizado pelos critérios de avaliação das preferências dos decisores estabelecidos para cada critério foram diferentes. Entretanto, pode-se observar algumas coerências nas avaliações dos critérios pelos decisores demonstrados na ordenação obtida para alguns dos pequenos açudes da região, em especial aquele com os melhores e os piores desempenhos.

Tabela 7.1 – Posição das alternativas para cada decisor pelo método PROMETHEE II.

Posição	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1ª	073	438	073	438	438	438	438	438	438	438
2ª	438	073	438	073	073	073	073	073	073	073
3ª	401	401	401	401	401	401	401	401	401	401
4ª	075	075	255	075	075	075	255	003	075	075
5ª	255	255	191	255	255	255	003	255	255	255
6ª	433	433	075	433	191	433	075	075	433	433
7ª	191	191	433	191	433	191	191	184	191	191
8ª	144	003	003	144	003	003	433	191	003	003
9ª	628	144	144	003	144	628	144	433	144	144
10ª	044	628	248	628	248	144	184	144	628	628
11ª	248	248	184	248	184	248	248	071	248	248
12ª	003	072	277	184	628	072	628	072	044	184
13ª	277	044	044	044	277	184	238	248	277	044
14ª	072	277	051	277	044	044	277	277	238	277
15ª	132	071	628	132	072	277	044	181	132	072
16ª	051	184	132	072	051	132	071	628	051	132
17ª	184	132	072	051	132	051	051	238	184	051
18ª	071	238	238	071	071	071	132	044	072	071
19ª	238	051	181	238	238	238	072	051	071	238
20ª	181	181	071	181	181	181	181	132	181	181

Fonte: Elaboração da autora.

7.2 Análise da Aplicação dos Métodos Multidecisores

Feita a análise das alternativas através do método PROMETHEE, surgiu a necessidade de realizar a análise multidecisor com o objetivo de compor as 20 ordenações geradas pelo PROMETHEE para os 10 decisores, através da aplicação dos métodos ordinais: método de Borda, Condorcet e Copeland.

a) Método de Borda

Para o uso do método de Borda, de acordo com a literatura, cada decisor deve ordenar as alternativas de acordo com as suas preferências. Neste estudo as alternativas foram ordenadas, na Tabela 7.2, de acordo com as suas posições obtidas na ordenação realizada pelo PROMETHEE para cada decisor.

Feito o somatório das posições relativas às ordenações das alternativas obtém-se a ordenação pelo método de Borda. A alternativa que tiver o menor somatório é a escolhida como a melhor. Lembrando que todas as alternativas são ordenadas por ordem decrescente de pontuação (o que garante o respeito ao axioma da totalidade).

Analisando a ordenação obtida no método de Borda, na Tabela 7.3, é visto que, o açude 438 continua sendo considerado o açude que apresenta o melhor desempenho entre os 20 açudes comparados. Assim como se mantiveram nas posições, de 2º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º, 13º, 14º lugares, os açudes 073, 401, 075, 255, 433, 191, 003, 144, 044 e 277, respectivamente. O mesmo aconteceu com os cinco piores açudes, o 132, 051, 071, 238 e 181 que continuaram na 16ª, 17ª, 18ª, 19ª e 20ª posição, respectivamente.

Um detalhe importante a ser observado é que nesse método é possível de ocorrer empates, como os que aconteceram com os açudes 051 e 071 ordenados na 17ª e/ou 18ª posição.

Tabela 7.2 – Ordenação das preferências para aplicação do método de Borda.

ALTERNATIVA	POSIÇÃO POR DECISOR										SOMATÓRIO
	I	II	III	V	VII	VIII	X	XII	XIII	XIV	
AÇUDE 003	12	8	8	9	8	8	5	4	8	8	78
AÇUDE 044	10	13	13	13	14	14	15	18	12	13	135
AÇUDE 051	16	19	17	17	16	17	17	19	16	17	171
AÇUDE 071	18	15	20	18	18	18	16	11	19	18	171
AÇUDE 072	14	12	17	16	15	12	19	12	18	15	150
AÇUDE 073	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	18
AÇUDE 075	4	4	6	4	4	4	6	6	4	4	46
AÇUDE 132	15	17	16	15	17	16	18	20	15	16	165
AÇUDE 144	8	9	9	8	9	10	9	10	9	9	90
AÇUDE 181	20	20	19	20	20	20	20	15	20	20	194
AÇUDE 184	17	16	11	12	11	13	10	7	17	12	126
AÇUDE 191	7	7	5	7	6	7	7	8	7	7	68
AÇUDE 238	19	18	18	19	19	19	13	17	14	19	175
AÇUDE 248	11	11	10	11	10	11	11	13	11	11	110
AÇUDE 255	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	48
AÇUDE 277	13	14	12	14	13	15	14	14	13	14	136
AÇUDE 401	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
AÇUDE 433	6	6	7	6	7	6	8	9	6	6	67
AÇUDE 438	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	12
AÇUDE 628	9	10	15	10	12	9	12	16	10	10	113

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela 7.3 – Posição das alternativas pelo método de Borda.

POSICÃO	ALTERNATIVAS
1º	Açude 438
2º	Açude 073
3º	Açude 401
4º	Açude 075
5º	Açude 255
6º	Açude 433
7º	Açude 191
8º	Açude 003
9º	Açude 144
10º	Açude 248
11º	Açude 628
12º	Açude 184
13º	Açude 044
14º	Açude 277
15º	Açude 072
16º	Açude 132
17º	Açude 181
18º	Açude 271
19º	Açude 238
20º	Açude 181

Fonte: Elaboração da autora.

b) Método de Condorcet

A maneira encontrada para testar como se comportaria a ordenação dos açudes com outro método multidecisor foi aplicando o método de Condorcet (Mini-Max). Esse método baseia-se em relação de preferências.

Para realização da sua análise as alternativas foram ordenadas por ordem de preferência, e em seguida foi verificado em cada par de alternativas, qual delas foi preferida pela maioria dos decisores. Quando a alternativa fosse preferida à outra a ela era atribuído o valor “1”, caso contrário, “0”, obtendo desta forma a matriz de Condorcet para cada alternativa.

A ordenação das alternativas obtida por Condorcet é apresentada na Tabela 7.4:

Assim como no método de Borda, no método de Condorcet, o melhor açude àquele que ocupa a 1ª posição foi o açude 438. Assim como o pior açude em termos de desempenho continua sendo o açude 181. Com relação às outras posições os açudes apresentaram ordenações distintas, tanto no que diz respeito ao método de Borda quanto ao método multicriterial Promethee. Esse método apresentou como vantagem com relação ao método de Borda a não geração de empates entre a ordenação dos açudes, conseguindo uma ordenação completa entre os açudes.

Com relação ao método de Borda, o método de Condorcet tem a vantagem de impedir distorções ao fazer com que a posição relativa de duas alternativas independa de suas posições relativas a qualquer outra. No entanto, pode conduzir ao chamado paradoxo de Condorcet, ou situação de intransitividade. Isso acontece quando a alternativa A supera a alternativa B, que supera a C, que por sua vez supera a alternativa A.

Tabela 7.4 - Posição das alternativas pelo método de Condorcet.

POSIÇÃO	ALTERNATIVAS
1º	Açude 438
2º	Açude 628
3º	Açude 433
4º	Açude 255
5º	Açude 401
6º	Açude 191
7º	Açude 073
8º	Açude 075
9º	Açude 044
10º	Açude 248
11º	Açude 144
12º	Açude 132
13º	Açude 238
14º	Açude 003
15º	Açude 051
16º	Açude 277
17º	Açude 071
18º	Açude 072
19º	Açude 184
20º	Açude 181

Fonte: Elaboração da autora.

c) Método de Copeland

O outro método ordinal ou multidecisor utilizado para observar a ordenação entre os açudes foi o de Copeland. No método de Copeland utiliza-se a mesma matriz gerada pelo método de Condorcet e soma-se o número "1" na linha da alternativa que se quer avaliar, e subtrai a soma dos números "1" de sua respectiva coluna. A ordem é estabelecida pela pontuação ordenada de forma decrescente.

Tabela 7.5 - Ordenação das alternativas pelo método de Copeland.

ORDENAÇÃO	ALTERNATIVAS
1º	Açude 438
2º	Açude 073
3º	Açude 401
4º	Açude 255
5º	Açude 433
6º	Açude 075
7º	Açude 191
8º	Açude 628
9º	Açude 144
10º	Açude 044
11º	Açude 003
12º	Açude 248
13º	Açude 132
14º	Açude 277
15º	Açude 238
16º	Açude 051
17º	Açude 184
18º	Açude 071
19º	Açude 072
20º	Açude 181

Fonte: Elaboração da autora.

Observando a Tabela 7.5 ficou perceptível que o método de Copeland não conseguiu gerar uma ordenação dos açudes sem que houvesse algum empate entre eles. Os açudes 132 e

177 ficaram empatados na 12ª e/ou 13ª posição. Analisando o ordenamento das alternativas no método de Copeland com os outros métodos multidecisores utilizados o método que mais se aproximou de Copeland foi sem dúvida o método de Borda. Nesses dois métodos os açudes 438, 073 e 401 mantiveram-se na quatro primeiras posições, enquanto que na última posição encontra-se o açude 181.

A Tabela 7.6 permite fazer uma análise comparativa da ordem das alternativas entre os métodos de Borda, Condorcet e Copeland e observar os açudes que melhor potencializam os usos de suas águas.

Tabela 7.6 – Análise comparativa da ordenação entre os métodos ordinais.

ORDENAÇÃO	BORDA	ORDENAÇÃO	COPELAND	ORDENAÇÃO	CONDORCET
1º	Açude 438	1º	Açude 438	1º	Açude 438
2º	Açude 073	2º	Açude 073	2º	Açude 628
3º	Açude 401	3º	Açude 401	3º	Açude 433
4º	Açude 075	4º	Açude 255	4º	Açude 255
5º	Açude 255	5º	Açude 433	5º	Açude 401
6º	Açude 433	6º	Açude 075	6º	Açude 191
7º	Açude 191	7º	Açude 191	7º	Açude 073
8º	Açude 003	8º	Açude 628	8º	Açude 075
9º	Açude 144	9º	Açude 144	9º	Açude 044
10º	Açude 248	10º	Açude 044	10º	Açude 248
10º	Açude 628	11º	Açude 003	10º	Açude 144
12º	Açude 184	11º	Açude 248	12º	Açude 132
13º	Açude 044	13º	Açude 184	13º	Açude 238
14º	Açude 277	14º	Açude 277	14º	Açude 003
15º	Açude 072	15º	Açude 238	15º	Açude 051
16º	Açude 132	16º	Açude 051	16º	Açude 277
17º	Açude 051	17º	Açude 184	17º	Açude 071
18º	Açude 071	18º	Açude 071	18º	Açude 072
19º	Açude 238	19º	Açude 072	19º	Açude 184
20º	Açude 181	20º	Açude 181	20º	Açude 181

Fonte: Elaboração da autora.

Comparando os três métodos multidecisores aplicados, Borda, Condorcet e Copeland, observa-se que as ordenações obtidas para cada um dos pequenos açudes à montante do açude de Sumé pelo método de Borda e Condorcet são coerentes, entretanto no método de Copeland só foi observada coerência nas ordenações referentes à primeira e última posição.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O enfoque deste estudo foi a aplicação da análise multicriterial e multidecisor para estabelecer meios de avaliar, comparativamente, o atual e potencial desempenho relacionado aos impactos e benefícios do uso das águas de 20 pequenos açudes da bacia de Sumé levando em consideração a opinião de múltiplos (dez) decisores.

A análise multicriterial foi realizada, principalmente, com dados referentes ao potencial de uso das águas dos pequenos açudes, obtidos através da aplicação de um modelo de otimização multiobjectivo, o ORNAP, e de informações providas pelos relatórios do projeto DISPAB, sendo apresentadas na forma de indicadores como forma de possibilitar a sua quantificação e verificação em função dos dados coletados ou gerados. Para isso estruturou-se a análise do problema nas dimensões financeiras, sociais, ambientais e técnico-operacionais que foram subdivididas em critérios de avaliação, para cada açude (considerado como alternativa do problema multicriterial). Para elencar e estruturar o desempenho dos açudes, critérios objetivos (quase todos mensuráveis) de avaliação foram hierarquizados no intuito de prover uma análise sistêmica e evitar potenciais redundâncias ou super-valorização, de uma dimensão em detrimento de outra que foram estabelecidas.

Conforme esperado, a ordenação dos açudes para cada decisor, segundo o seu desempenho caracterizado pelos critérios de avaliação das preferências dos decisores estabelecidas para cada critério foram diferentes. No entanto, pode-se observar algumas coerências nas avaliações dos critérios pelos decisores demonstrados na ordenação obtida para alguns dos pequenos açudes da região, em especial aqueles com os melhores e piores desempenhos. Para obter um ordenamento global das alternativas foi aplicado os métodos multidecisores de Borda, Condorcet e Copeland, e comparados os seus resultados. A utilização destes três métodos foi necessária para compor as 20 ordenações geradas pelo PROMETHEE para os 10 decisores. Nessa análise multicriterial, o método de Copeland mostrou-se mais adequado em relação aos demais métodos multidecisores por prover a ordenação dos açudes e geração mínima de empates entre os açudes.

A análise das alternativas por meio de técnicas multicriteriais permitiu ordenar quais os açudes da bacia de Sumé que apresentam melhor potencial de uso de suas águas com base na opinião de vários decisores e diferentes critérios. Dado bastante relevante para a região semiárida nordestina que apresenta uma situação socioeconômica crítica, apresentando

índices de desempregos elevados, precárias condições de abastecimento urbano, agricultura pouco desenvolvida extremamente dependente das chuvas e renda mínima.

Estudos feitos por Costa (2011) e utilizados na avaliação dos critérios mostram que estes açudes potencialmente têm capacidade de gerar recursos financeiros consideráveis, além de geração de emprego e renda. A composição de tais metodologias permite, também, face a disponibilidade de dados, fazer uma análise da real utilização do sistema hídrico formado pelos pequenos açude da bacia de Sumé e mostrar que, em geral, é feita de maneira inadequada. O que normalmente se verifica na prática é o baixo aproveitamento do potencial hídrico para a geração de riqueza e desenvolvimento social, motivados principalmente pela cultura da região que teme pela estiagem e que, por isso, utiliza a água apenas para as necessidades básicas, a dessedentação animal e para atividades de subsistência, como piscicultura extensiva e agricultura familiar, embora de maneira muito precária.

O conjunto de informações sobre o desempenho dos pequenos açudes e sua importância relativa segundo a ótica de potenciais decisores pode prover diretrizes para melhorar o aproveitamento da água dos pequenos açudes, assim como implementar normas que disciplinam a sua construção e uso (quer seja com relação a concessão de outorga da água, descomissionamento, etc) com vistas a fomentar o desenvolvimento socioeconômico da região, enquanto preservando seus recursos naturais e minimizando o impacto de suas construções no comprometimento do uso da água em açudes de maior porte.

Como recomendações para trabalhos futuros, destacam-se:

- Propor regras para o descomissionamento dos açudes dependendo do seu potencial de uso e desempenho;
- Elaboração de um modelo de outorga baseado na análise multiobjetivo e multicriterial dos usos múltiplos;
- Elaboração de um modelo de cobrança baseado na análise multiobjetivo e multicriterial dos usos múltiplos;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOLET, T. **Modelo de análise de crédito fundamentado no ELECTRE TRI**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissionalizante em Administração das Faculdades IBMEC, 2008.

ALENCAR, L.H. **Avaliação e gestão de projeto na construção civil com apoio do método multicritério PROMETHEE**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

ALMEIDA, A.T.; COSTA, A.P.C.S. **Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE**. *Gestão & Produção*, v. 9, n. 2, ago 2002.

ANDRADE, P.R.G.S. **Estudo para alocação ótima das águas de um sistema de reservatórios em série e em paralelo, para usos e objetivos múltiplos, na bacia do rio Capibaribe**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Institucional de Doutorado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

ARAÚJO, A.G.; ALMEIDA, A.T. **Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE**. *Gestão & Produção*, v. 16, n. 4, out-dez 2009.

BANA E COSTA, C.; STEWART, T.J.; VANSNICK, J. **Multicriteria decision analysis: some thoughts on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings**. *European Journal of Operational Research*, v. 99, 1997.

BANA e COSTA, C. **Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão. investigação operacional**. *Investigação Operacional*, v. 66, 1988.

BARBA-ROMERO, S; POMEROL, JC. **Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos e utilización práctica**. Madrid: Universidad de Alcalá, 1997.

BARBOSA, R.L. **Outorga hídrica sob a ótica da análise multicriterial. estudo de caso: reservatório Coremas – Mãe D'Água – PB**. Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

BARBOSA, M. P.; SANTOS, M. J. **SIG e os desastres naturais. Uma experiência na região de Sumé, estado da Paraíba, Brasil**. In: MARKREY, A. *Navegando entre brumas: La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo em América Latina*. LARED - Peru, cap.13, p. 4-5, 1998.

BARROS, S. V. A. **Otimização dos usos múltiplos em pequenos açudes na bacia do açude de Sumé - PB**. Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: An integrated approach**. Boston: Kluwer Academic Press, 2002.

BOUYSSOU, D. Building criteria: a prerequisite for MCDA. In: BANA E COSTA, C. A. **Readings in multiple criteria decision aid**. Alemanha: Springer-Verlag, 1990.

BRAGA, C. F. C. **Avaliação multicriterial e multidecisória no gerenciamento da demanda urbana de água**. Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, 2001.

BRAGA, B.; BARBOSA, P. S. F.; NAKAYAMA, P. T. **Sistema de suporte à decisão em recursos hídricos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, n. 3, São Paulo, 1998.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. **A preference ranking organisation method. management science**. The Institute of Management Sciences, v. 31, n. 6, 1985.

BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. **Cadernos de Recursos Hídricos: Disponibilidade e demandas de recursos hídricos do Brasil**. Brasília, 2005.

BRASIL. **Lei nº 9.433 - Política Nacional e Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos**. Brasília - Distrito Federal, 1997.

BRIGAGÃO, E.N.; NETTO, O.M.C. **Integração da análise econômica e financeira a sistemas de apoio à decisão de outorga e cobrança de recursos hídricos**. In: Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro – Oeste, Cuiabá, 2007.

CADIER, E. **Hidrologia das pequenas bacias do nordeste semiárido – transposição hidrológica**. SUDENE, Recife, p.373, 1994.

CALDAS, M.A.F.; AZEVEDO, F. **Um modelo de localização de terminal multimodal de cargas baseado em análise multicritério**. In: Anais do XLI SBPO, Porto Seguro, 2009.

CAMPOS, V.R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

CARVALHO, J.R.M.; CARVALHO, E.K.M.A.; CURI, W.F. **Metodologia para avaliar a saúde ambiental: Uma aplicação em municípios aplicando a análise multicriterial**. In: Anais do III Congresso Nacional de Administração e Ciências Contábeis (AdCont), Rio de Janeiro, 2012.

CARVALHO, J.R.M.; CURI, W.F. **Índice de sustentabilidade para municípios: Uma abordagem utilizando a análise multicriterial**. XV Seminário em Administração (SEMEAD), São Paulo, out. 2012.

CARVALHO, J.R.M.; CARVALHO, E.K.M.A.; CURI, W.F. **Avaliação da sustentabilidade ambiental de municípios paraibanos: Uma aplicação utilizando o método PROMETHEE II**. Gestão & Regionalidade, São Caetano do Sul, v. 27, n. 80, mai-ago. 2011.

CEARÁ. Prefeitura Municipal de Monsenhor Tabosa. Secretaria de Obras e Serviços Públicos. **Projeto de Reconstrução do Açude Guritiba**.

CEARÁ. Prefeitura Municipal de Pedra Branca. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA: Construção do açude Cruzeta**. Distrito de Santa Cruz do Banabuiú, 2011.

CELESTE, A.B. **Determinação e análise de indicadores de desempenho e de sustentabilidade de seis açudes na bacia do rio Piancó – PB e de suas potenciais demandas**. Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

CEOLIM, A.J. **Aplicação de metodologias multicritério na avaliação dos cursos da UNESPAR/FECILCAM**. Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Método Numéricos em Engenharia da Universidade Federal do Paraná, 2005.

CIRILO, J.A. **Vulnerabilidade e Potencialidades do Semi-Árido Brasileiro**. Cadernos Temáticos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. Recife, 2010. Disponível em: <www.forumclima.org.br>. Acessado em: 11 de agosto de 2012.

CIRILO, J.A. **Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido**. Estudos Avançados (USP – Impresso), São Paulo, v. 22, n.63, jun 2008.

COSTA, R. S. **Avaliação multiobjetiva de cenários para usos múltiplos nos pequenos açudes da bacia hidrográfica do açude de Sumé – PB**. Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2011.

COSTA, H.G. **Estruturas de suporte à decisão**. Niterói: H. G. 2005.

CRUZ, R.M. **Análise multicritério aplicada à modelagem da decisão de compra de petróleo**. Dissertação de Mestrado Apresentada ao Mestrado de Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense, 2007.

ENSSLIN, S.R. **A incorporação da perspectiva sistêmico-sinérgica na metodologia MCDA-Construtivista: Uma ilustração de implementação**. Tese de doutorado Apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

FARIA, A.S.; SRDJEVIC, B.; MEDEIROS, Y.D.P.; SCHAEER-BARBOSA, M. **Modelo de redes de fluxo e análise multi-criterial – Uma aplicação à gestão de recursos hídricos na bacia do rio Paraguaçu**. In: Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, 2002.

FARIAS, E.E.V. **Distribuição da água do projeto de integração do rio São Francisco no estado da Paraíba – Eixo Leste : Análise de perdas**. Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

FERREIRA, R.O.; GOMES, F.P.; MELLO, J.C.C.B.S. **Emprego de métodos ordinais multicritério na escolha de seleções cabeças de chave da copa do mundo de 2014**. Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção, v. 11, n. 11, 2011.

FRANCISCO, C.E.S.; COELHO, R.M.; TORRES, R.B.; ADAMI, S.F. **Análise multicritério na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental.** Ciência Florestal, v. 18, n. 1, jan-mar 2008.

FREITAS, A.L.P.; MORAIS, A.S.C.; BRITO, M.M. **Empregos de métodos de AMD na avaliação e ordenação de estabelecimentos de hospedagem via internet.** In: Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, João Pessoa, 2008.

GOMES, E.G.; MELLO, J.C.C.B.S.; MANGABEIRA, J.A.C. **Agregação ordinal de produtividades parciais: Estudo de caso em agricultura familiar.** Associação Portuguesa de Investigação Operacional, v. 27, 2007.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial: Enfoque multicritério.** 2 ed. Editora Atlas. São Paulo, 2006.

GOMES JUNIOR, S.F.; MELLO, J.C.C.B.S. **Utilização do método de Copeland para avaliação dos pólos regionais do CEDERJ.** In: Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado, 2005.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. de. **Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque multicritério.** São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, R.W. **Métodos multicritérios como apoio à decisão em comitês de bacias hidrográficas.** Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade de Fortaleza, 2011.

HARRIS, N. M.; GURNELL, A. M.; HANNAH, D. M.; PETTS, G. E. **Classification of river regimes: A context for hydroecology.** In: John Wiley & Sons, Hardcover: Hydrological Processes, v. 14, 2000.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. **Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation.** Water Resources Research, vol. 18, n.1, p. 14-20. 1982.

JESUS, I.R.D.; LIMA, A.S.; OLIVEIRA, A.B. **Análise dos desfiles de carnaval do Rio de Janeiro sob a ótica do método multicritério lexicográfico.** ENGEVISTA, v.14, n. 1, abr de 2012.

LABFIT AJUSTE DE CURVAS. Desenvolvido por Wilton e Cleide Pereira da Silva, 2003. Disponível em: <http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/index_p.htm>. Acesso em: 12 fev 2012.

LABSID ACQUANET. Desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, versão 3.16, 2010. Disponível em: <<http://www.labsid.eng.br/programas.aspx?u1=programas&u2=6>>. Acesso em: 12 fev 2012.

LACERDA, J.M.; AMARO, A.L. **Seleção e acompanhamento de desempenho de pessoal com auxílio de sistemas de apoio à decisão (SAD'S).** In: Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, 2007.

LARRUBIA, C.B. **Método AHP como instrumento de apoio à decisão para a manutenção da qualidade da água do Reservatório de Ilha Solteira.** Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Paulista, 2010.

LEÃO, J. C. **Metodologia para outorga de uso das águas reservadas em regiões semi-áridas aplicada à bacia do Canindé - PI.** Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí, 2008.

LEVINO, N.A.; MORAIS, D.C. **Tomada de decisão em comitês de bacias hidrográficas: uma proposta para estruturação e avaliação de problemas.** In: Anais do XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves, 2010.

LIMA, H.V.C.; LANNA, A.E.L. **Modelos para operação de sistemas de reservatórios: Atualização do estado da arte.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 3, jul/set 2005.

LIMA, C.A.G. **Análise e sugestões para diretrizes de uso das disponibilidades hídricas superficiais da bacia hidrográfica do rio Piancó, situada no estado da Paraíba.** Tese submetida ao Programa de Doutorado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, 2004.

MACHARIS, C.; BRANS, J.; MARESCHAL, B. **The GDSS PROMETHEE procedure .** Decision Support Systems, v.7, 1998.

MARZALL, K.; ALMEIDA, J. **O estado da arte sobre indicadores de sustentabilidade para agrossistemas.** Seminário Internacional sobre Potencialidades e Limites do Desenvolvimento Sustentável, Santa Maria, 1999.

MATZENAUER, H.B. **Avaliação da sustentabilidade ambiental de municípios Paraibanos: Uma aplicação utilizando o método PROMETHEE II.** Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 1, 2003.

MATZENAUER, H. B.; JARDIM, S. B. **Estudo comparativo das metodologias MCDM e MCDA na gestão dos recursos hídricos.** In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, v. 1, Aracaju, 2001.

MELLO, M.H.C.S. **Avaliação do impacto da interiorização da UFF utilizando métodos ordinais multicritério.** In: Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado, 2005.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do Pequeno Açude.** SUDENE-DPG-PRN-DPPWR, Recife, 1992.

MORAIS, D.C.; ALMEIDA, A.T. **Water supply system decision making using multicriteria analysis.** Water SA (online), v.32, n. 2, 2006.

PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. João Pessoa, Paraíba, 2004.

PARAÍBA. **Decreto nº 19.260 - Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos**. João Pessoa, Paraíba, 1997.

POMPERMAYER, R.S. **Aplicação da análise multicritério em gestão de recursos hídricos: Simulação para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. Dissertação de Mestrado Apresentada a Faculdade de Engenharia Agrícola da Faculdade de Engenharia Agrícola, 2003.

RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Estado do Trabalho, da Habitação e da Assistência Social. **Cartilha de parâmetros básicos e limites de custos para subprojetos comunitários**. Natal – RN, 2009.

ROCHA, M.A.A.; FREITAS, A.L.P. **Uma proposta de software web para coleta de dados e aplicação de métodos elementares de auxílio à decisão multicritério**. In: Anais do XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008.

ROY, B. **Mulcriteria methodology for decision aiding**. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1996.

ROY, B. **Méthodologie multicritère d'aide à la decision**. Paris: Economica, 1985.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. **Aide multicritère à la décision: méthodes et cas**. Paris: Ed. Economica, 1993.

SANTOS, F. A.; SILANS, A. M. B. P.; PORTO, R. Q.; ALMEIDA, C. N. **Estimativa e análise do volume dos pequenos açudes através de imagens de satélite e levantamento de campo na bacia hidrográfica do açude de Sumé**. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, 2009.

SANTOS, L.F.; CURI, R.C. **Abordagens multidecisores em problemas com enfoque multicriterial**. In: Anais do Congresso Nacional de Iniciação Científica da UFCG. Campina Grande, 2013.

SANTOS, M.F.; MOTA, C.M.M.; GURGEL, A.M. **Modelo de priorização de atividades em projeto de TI: uma proposta utilizando o método PROMETHEE de classificação**. In: III Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, 2011.

SANTOS, R.B.; CURI, W.F.; SANTOS, V.S. **Desempenho agrícola com o uso de modelo de otimização multiobjetivo**. In: Anais do X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza, 2010.

SANTOS, R.B. **Avaliação de intervenções hidráulicas na bacia do rio Gramame - PB com o uso das técnicas de análise multiobjetivo e multicriterial**. Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

SANTOS, R.B. **Aplicação do método multicriterial PROMETHEE para ampliação da disponibilidade hídrica superficial na bacia do rio Gramame – PB**. Dissertação de

mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, 2004.

SANTOS, V.S. **Modelo de otimização quali-quantitativo multiobjectivo para o planejamento dos recursos hídricos superficiais, com aplicação à bacia do rio Paraíba.** Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, 2011.

SANTOS, V.S.; CURI, W.F.; CURI, R.C.; VIEIRA, A.S. **Um modelo de otimização multiobjetivo de sistemas de recursos hídricos I: Metodologia.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.16, n.4, out/dez 2011.

SILANS, A. M. B. P.; QUEIROZ, R.; SANTOS, F. A.; SILVA, A. C. S. **Relatório projeto DISPAB.** UFPB/AESA, 2009. Disponível em: <<http://dispab.lrh.ct.ufpb.br>>.

SILVA, A. C. S.; SILANS, A. M. B. P.; NETO, A. F. S.; PORTO, R. Q. **Considerações sobre os aspectos sociais e físicos da açudagem na bacia do açude de Sumé - PB.** In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande, 2009.

SILVA, D. S. G. **Construção de indicadores de condições de vida através da análise multicritério: Estudo aplicado aos municípios da Baixada Fluminense.** Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais da Escola Nacional de Ciências Estatísticas, 2007.

SILVA, L. F. D. **Avaliação de unidades produtivas da agricultura familiar no perímetro irrigado de Sumé - PB.** Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

SILVA, M.B.F.A. **Índice de remoção de barragens cearenses (IREB) sob um enfoque multicritério.** Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, 2012.

SILVINO, G.S; CURI, W. F.; CURI, R. C. **Modelos multicriteriais hierárquicos multidecisores com diferentes abordagens de agregação de preferências dos decisores.** GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas, n. 1, jan-mar 2013.

SILVINO, G.S. **Aplicações de modelos multicriteriais hierárquicos e multidecisores para alocação de água no sistema Curema - Açú.** Tese de Doutorado Apresentada ao Programa Institucional de Doutorado Temático em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

SOARES, S. R. **Análise multicritério e gestão ambiental.** In: PHILIPPI, A. J. et al. (Org.). Gestão Ambiental Urbana. São Paulo: Manole, 2004. 1050 p.

SOARES, S. R. **Análise multicritério com instrumento de gestão ambiental.** Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. **Relatório técnico sobre a barragem de Camará.** Campina Grande, 2004.

VALLADARES, G.S.; GOMES, E.G.; MELLO, J.C.C.B.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, H.C.; EBELING, A.G.; BENITES, V.M. **Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, 2008.

VETORAZZI, C.A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação dos recursos hídricos.** Tese de dissertação Apresentada à Escola Superior da Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, 2006.

VIEIRA, H.C.; CASTRO, A.E.; SCHUCH JUNIOR, V.F. **O uso de questionários via e-mail em pesquisas acadêmicas sob a ótica dos respondentes.** XIII SEMEAD, set. 2010.

VIEIRA, V. P. P. B. **Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do semi-árido Nordeste.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, n. 1, v. 1, jun/jun 1996.

VILAS BOAS, C.L. **Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da barragem do Ribeirão João Leite.** Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Brasília, 2006.

VINCKE, P. **Multicriteria decision - aid.** Wiley, Bruxelles, 1992.

ZELNY, M. **Multiple criteria decision making.** New York: McGraw-Hill, 1982.

ZUFFO, A.C. **Incorporação de matemática Fuzzy em métodos multicriteriais para descrever critérios subjetivos em planejamento de recursos hídricos: Fuzzy - CP e Fuzzy - CGT.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 4, out./dez 2011.

ZUFFO, A.C.; REIS, L.F.R.; SANTOS, R.F.; CHAUDRY, F.H. **Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, jan/mar 2002.

ANEXOS

ANEXO A - Área mínima da superfície líquida.

Reservatório	Área mínima Cenário 1(ha)	Área mínima Cenário 3(ha)	Área mínima Cenário 4(ha)
003	-	87,36	165,02
044	-	32,85	66,31
051	-	53,76	107,71
071	-	113,23	148,17
072	-	77,82	132,85
073	-	31,18	60,65
075	-	24,19	45,51
132	-	44,25	85,72
144	-	41,72	84,96
181	-	202,80	353,24
184	-	102,81	197,95
191	-	20,76	39,23
238	-	71,00	112,21
248	-	53,04	112,58
255	-	28,41	53,90
277	-	36,30	54,08
401	-	27,90	59,18
433	-	24,65	49,50
438	-	48,14	96,19
628	-	55,80	126,83

Fonte: Adaptado de Costa (2011).

ANEXO B - Área inundada para construção dos açudes e área máxima utilizada na agricultura.

Reservatório	Cenário 1		Cenário 3		Cenário 4	
	Aaçu (ha)	Aagr (ha)	Aaçu (ha)	Aagr (ha)	Aaçu (ha)	Aagr (ha)
003	25,4	0,0	25,4	1.258,63	25,4	964,43
044	10,1	0,0	10,1	1.118,71	10,1	955,25
051	16,0	0,0	16,0	1.164,35	16,0	851,51
071	34,3	0,0	34,3	1.1158,03	34,3	1.016,25
072	26,6	0,0	26,6	1.109,27	26,6	761,55
073	10,1	0,0	10,1	1.101,41	10,1	872,81
075	7,1	0,0	7,1	1.073,52	7,1	911,65
132	13,5	0,0	13,5	1.109,59	13,5	779,02
144	12,3	0,0	12,3	1.205,94	12,3	970,31
181	57,3	0,0	57,3	1.550,78	57,3	1.055,44
184	31,1	0,0	31,1	1.348,58	31,1	1.066,49
191	6,1	0,0	6,1	986,67	6,1	665,24
238	19,7	0,0	19,7	985,02	19,7	453,90
248	16,2	0,0	16,2	1.262,97	16,2	1.012,22
255	8,5	0,0	8,5	1.056,57	8,5	806,46
277	11,0	0,0	11,0	956,22	11,0	754,94
401	8,4	0,0	8,4	1.105,61	8,4	920,07
433	7,5	0,0	7,5	1.073,75	7,5	788,41
438	14,3	0,0	14,3	1.162,94	14,3	881,30
628	17,6	0,0	17,6	1.303,29	17,6	1.051,58

Fonte: Costa (2011).

APÊNDICES

APÊNDICE A – Síntese dos atributos da dimensão financeira no uso potencial dos açudes.

USO POTENCIAL													
Dimensão	Critérios	Subcritérios	Métrica ou Unidade	003	044	051	071	072	073	075	132	144	181
Financeira	Custos	Custo de Implantação	R\$	8965,73	2589,06	5445,08	11891,80	8124,14	3234,10	2566,04	3850,10	4695,87	30943,31
		Custo de Operação	R\$/ano	448,28	129,45	272,25	594,59	406,20	161,70	128,30	192,50	234,79	1547,16
	Lucros	Lucro Agrícola	R\$/ano	1.338.663,60	1.243.388,23	1.231.409,29	1.134.029,49	1.149.824,75	1.148.351,91	1.135.898,44	1.151.526,20	1.244.812,29	1.437.938,76
		Lucro Piscícola	R\$/ano	30.254,02	12.158,39	19.747,36	27.164,04	24.355,95	11.119,69	8.344,17	15.715,52	15.575,87	64.761,30

USO POTENCIAL													
Dimensão	Critérios	Subcritérios	Métrica ou Unidade	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628
Financeira	Custos	Custo de Implantação	R\$	11406,86	2336,44	10386,99	6859,72	3266,20	2834,05	3210,55	2774,65	5444,67	5380,09
		Custo de Operação	R\$/ano	570,34	116,82	519,34	342,98	163,31	141,70	160,52	138,73	272,23	269,00
	Lucros	Lucro Agrícola	R\$/ano	1.433.636,08	1.068.079,20	1.074.125,56	1.368.847,20	1.114.187,59	1.039.051,62	1.230.424,33	1.187.838,43	1.222.272,80	1.547.735,65
		Lucro Piscícola	R\$/ano	36.290,66	7.192,70	20.572,75	20.638,89	9.881,88	9.914,45	10.850,42	9.074,12	17.635,61	23.252,45

APÊNDICE B – Síntese dos atributos da dimensão social no uso potencial dos açudes.

USO POTENCIAL														
Dimensão	Critérios	Subcritérios	Métrica ou Unidade	003	044	051	071	072	073	075	132	144	181	
Social	Geração de Empregos	Emprego na Agricultura	diária/ano	209.752,83	18.165,48	19.291,98	18.196,84	18.066,76	17.848,36	17.378,03	17.960,33	19.817,07	25.697,58	
		Emprego na Piscicultura	diária/ano	6,11	2,44	4	5,44	4,88	2,22	1,66	3,22	3,11	13,11	
	Geração de Renda	Renda na Agricultura	R\$/ano	5.533.279,65	479.205,36	508.922,43	480.032,63	476.601,12	470.839,73	458.432,43	473.793,50	522.744,30	677.902,16	
		Renda na Piscicultura	R\$/ano	65.072,62	65.116,20	64.626,00	65.321,08	65.229,13	67.355,53	65.560,62	63.851,02	65.542,91	64.661,42	
	Abastecimento Urbano	Atendimento à Demanda	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Expectativa de Vida	Proliferação de Doenças	Sim/Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

USO POTENCIAL														
Dimensão	Critérios	Subcritérios	Métrica ou Unidade	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628	
Social	Geração de Empregos	Emprego na Agricultura	diária/ano	22.505,46	16.024,51	16.219,04	20.957,91	17.217,59	15.395,86	18.016,72	17.278,94	19.284,34	21.784,96	
		Emprego na Piscicultura	diária/ano	7,33	1,44	4,11	4,22	2	2	2,22	1,77	3,55	4,66	
	Geração de Renda	Renda na Agricultura	R\$/ano	593.694,03	422.726,57	427.858,27	552.869,66	454.200,02	406.142,78	475.281,07	455.818,43	508.720,88	574.687,24	
		Renda na Piscicultura	R\$/ano	65.328,03	65.202,21	65.508,14	63.996,21	68.184,00	65.356,33	63.920,79	66.854,24	65.017,44	65.236,17	
	Abastecimento Urbano	Atendimento à Demanda	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Expectativa de Vida	Proliferação de Doenças	Sim/Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim

APÊNDICE C – Síntese dos atributos da dimensão ambiental no uso potencial dos açudes.

USO POTENCIAL														
Dimensão	Critérios	Subcritérios	Métrica ou Unidade	003	044	051	071	072	073	075	132	144	181	
Ambiental	Impacto no Meio Biótico	Danos à Fauna	ha	25,4	10,1	16	34,3	26,6	10,1	7,1	13,5	12,3	57,3	
		Danos à Flora	ha	25,4	10,1	16	34,3	26,6	10,1	7,1	13,5	12,3	57,3	
	Impacto no Meio Abiótico	Possibilidade de Erosão	ha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Poluição Hídrica	Sim/Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
		Exploração dos Recursos Naturais	%	7	2	3	12	1	3	5	1	4	16	

USO POTENCIAL														
Dimensão	Critérios	Subcritérios	Métrica ou Unidade	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628	
Ambiental	Impacto no Meio Biótico	Danos à Fauna	ha	31,1	6,1	19,7	16,2	8,5	11	8,4	7,5	14,3	17,6	
		Danos à Flora	ha	31,1	6,1	19,7	16,2	8,5	11	8,4	7,5	14,3	17,6	
	Impacto no Meio Abiótico	Possibilidade de Erosão	ha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Poluição Hídrica	Sim/Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
		Exploração dos Recursos Naturais	%	8	8	34	4	9	9	3	4	4	0	

APÊNDICE D – Síntese dos atributos da dimensão técnico-operacional no uso potencial dos açudes.

Dimensão	Critérios	Subcritérios	Métrica ou Unidade	USO POTENCIAL										
				003	044	051	071	072	073	075	132	144	181	
Técnico-Operacional	Riscos	Impacto Jusante	-	0,33	0,11	0,28	0,2	0,09	0,1	0,13	0,09	0,2	0,42	
		Confiabilidade	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		Resiliência	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		Vulnerabilidade	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Sustentabilidade	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	Desempenho do Reservatório	Qr90	m ³ /s	0,03	0,01	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,07
		IAP	-	0,44	0,23	0,46	0,24	0,12	0,2	0,26	0,26	0,39	0,56	
		IUD	-	0,81	0,86	0,82	0,85	0,73	0,87	0,89	0,82	0,86	0,83	
		IUP	-	0,36	0,20	0,38	0,20	0,09	0,17	0,23	0,21	0,33	0,46	
		ηVr	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		ηE	-	0,21	0,08	0,2	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08	0,13	0,26	
		ηp	-	0,08	0,03	0,08	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,09	
		ηV	-	0,43	0,72	0,42	0,71	0,83	0,77	0,7	0,67	0,53	0,27	
		ηe	-	0,44	0,23	0,46	0,24	0,12	0,2	0,26	0,26	0,39	0,56	

Dimensão	Critérios	Subcritérios	Métrica ou Unidade	USO POTENCIAL									
				184	191	238	248	255	277	401	433	438	628
Técnico-Operacional	Riscos	Impacto Jusante	-	0,28	0,26	0,71	0,22	0,26	0,29	0,16	0,17	0,3	0,02
		Confiabilidade	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		Resiliência	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		Vulnerabilidade	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sustentabilidade	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Desempenho do Reservatório	Qr90	m ³ /s	0,04	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
		IAP	-	0,40	0,55	0,76	0,38	0,47	0,42	0,37	0,39	0,5	0,11
		IUD	-	0,82	0,90	0,86	0,85	0,88	0,83	0,88	0,89	0,83	0,83
		IUP	-	0,33	0,50	0,65	0,32	0,41	0,35	0,32	0,34	0,41	0,09
		ηVr	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		ηE	-	0,19	0,13	0,29	0,14	0,14	0,17	0,10	0,10	0,20	0,02
		ηp	-	0,07	0,05	0,11	0,06	0,06	0,07	0,04	0,04	0,08	0,01
		ηV	-	0,49	0,37	0,06	0,54	0,45	0,48	0,58	0,55	0,39	0,86
		ηe	-	0,40	0,55	0,76	0,38	0,47	0,42	0,37	0,39	0,50	0,11

APÊNDICE E – Questionário enviado aos decisores para atribuição dos seus julgamentos.

Prezado (a) Senhor (a),

Meu nome é Fernanda Patricio do Monte, Engenheira Sanitarista e Ambiental e Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental na área de Engenharia de Recursos Hídricos na UFCG. Venho pedir a colaboração de V.S. (a) para o preenchimento de um questionário que visa coletar dados para elaboração de minha pesquisa.

A pesquisa diz respeito ao uso atual ou potencial da água dos açudes a montante do açude Sumé, os quais tem impactado o mesmo. A Bacia de Sumé está localizada na região semiárida da Paraíba.

O produto desta pesquisa visa prover uma análise multicriterial comparativa do desempenho de açudes, que se enquadram da faixa de 100.000 m³ a 1.000.000 de m³, segundo a percepção das pessoas participantes, através da atribuição de pesos para os aspectos elencados nesta análise que considerem ser mais importantes.

São levados em consideração aspectos **socioeconômicos, ambientais e técnico-operacionais**, que foram passíveis de verificação. Os critérios escolhidos para análise comparativa foram estruturados na forma hierárquica e as decisões sobre a sua importância deverão ser tomadas em cada nível hierárquico.

Para o preenchimento do questionário basta clicar no link:
<https://docs.google.com/forms/d/1Dv4LET50WyBv9x8NpiEGyxzVEK1MiwNEFtHNWPgLxE4/viewform>

Em caso de dúvidas ou informações adicionais, por favor, entrar em contato pelo e-mail ou telefone que segue abaixo.

Desde já, agradeço a valiosa colaboração.

Fernanda Patricio do Monte

Executora da pesquisa

fernandamonte20@gmail.com

Telefone para contato:

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – PPGECA - UFCG

Profa. PhD. Rosires Catão Curi

Prof. PhD. Wilson Fadlo Curi

Orientadores da pesquisa

BREVE EXPLICAÇÃO, EXEMPLIFICADA, DE COMO PREENCHER O QUESTIONÁRIO

Marque um “X” no espaço que represente o grau de importância mais adequado à sua percepção com relação a cada um dos critérios relacionados apenas ao aspecto citado. Todas as questões são relativas aos pequenos açudes a montante do açude de Sumé.

Por exemplo, suponha que estamos analisando um carro que queiramos comprar e no **critério conforto** precisamos avaliar o grau de importância entre duas alternativas: *Conforto do Motorista* e *Conforto dos Passageiros*. Considerando apenas o **aspecto conforto** poderíamos fazer a seguinte escolha:

Grau de importância	Conforto do motorista	Conforto dos passageiros
Nenhum		
Baixo		
Médio		X
Alto		
Muito alto	X	
Sem opinião formada		

Caso você assinalasse da forma acima, significaria que você dá mais importância ao conforto do motorista do que o conforto dos demais passageiros.

Podemos agora, dar prosseguimento ao questionário relativo aos açudes a montante do Açude Sumé.

ASPECTOS FINANCEIROS

Levando em consideração apenas o **aspecto financeiro** pede-se para avaliar:

→ A importância do *custo de investimento* financeiro nos açudes em termos de **custos de implantação e custos de operação**.

Tabela 1. Grau de importância dos critérios custo de implantação e operação.

Grau de Importância	Custo de implantação	Custo de operação
Nenhum		
Baixo		
Médio		
Alto		
Muito alto		
Sem opinião formada		

→ A importância de *lucratividade* atual ou potencial a ser auferida com o uso da água dos açudes em atividades piscícolas (criação de peixes) ou agrícolas, denominadas de **lucro agrícola e lucro piscícola**.

Tabela 2. Grau de importância dos critérios lucro agrícola e piscícola.

Grau de Importância	Lucro agrícola	Lucro piscícola
Nenhum		
Baixo		
Médio		
Alto		
Muito alto		
Sem opinião formada		

→ Dado o caráter de aspecto hierárquico e comparativo, favor avaliar a importância relativa dos **Custos** e dos **Lucros** na avaliação financeira dos açudes.

Tabela 3. Grau de importância dos critérios custo e lucro.

Grau de Importância	Custo	Lucro
Nenhum		
Baixo		
Médio		
Alto		
Muito alto		
Sem opinião formada		

ASPECTOS SOCIAIS

Considerando os aspectos sociais, por favor, analise a importância relativa dos seguintes critérios:

→ A importância da *geração de empregos* atual ou potencial em atividades **na agricultura** ou **na piscicultura** com o uso da água dos açudes.

Tabela 4. Grau de importância dos critérios emprego na agricultura e piscicultura.

Grau de Importância	Emprego na agricultura	Emprego na piscicultura
Nenhum		
Baixo		
Médio		
Alto		
Muito alto		
Sem opinião formada		

→ A importância com relação a *geração de renda* atual ou potencial oriundas de atividades agrícolas ou piscícolas, ou seja, as **rendas na agricultura e piscicultura**.

Tabela 5. Grau de importância dos critérios renda na agricultura e piscicultura.

Grau de Importância	Renda na agricultura	Renda na piscicultura
Nenhum		
Baixo		
Médio		
Alto		
Muito alto		
Sem opinião formada		

→ A perspectiva de melhoria das condições sociais pode ser comparativamente verificada em termos de **geração de empregos, geração de renda, abastecimento urbano e a proliferação de doenças de veiculação hídrica** (inferido a partir de informações sobre mau uso das águas do açude, levando a sua contaminação).

Tabela 6. Grau de importância dos critérios geração de emprego, geração de renda e abastecimento urbano.

Grau de Importância	Geração de emprego	Geração de renda	Abastecimento humano	Proliferação de doenças de veiculação hídrica
Nenhum				
Baixo				
Médio				
Alto				
Muito alto				
Sem opinião formada				

ASPECTOS AMBIENTAIS

Examinando os **aspectos ambientais** é possível observar:

→ O impacto causado no *meio biótico*, a partir da construção dos açudes e uso de suas águas, tais como o desmatamento para a inundação da área ou cultivo de terras, alteração do micro clima e mudanças potenciais de uso da terra, etc., ponderando a importância dos **danos à flora e à fauna**. Peça que analise a importância dos seguintes critérios:

Tabela 7. Grau de importância dos critérios danos à flora e fauna, causados pela construção dos açudes e uso das suas águas.

Grau de importância	Danos à flora	Danos à fauna
Nenhum		
Baixo		
Médio		
Alto		
Muito alto		
Sem opinião formada		

→ O *impacto abiótico* levando em consideração a **possibilidade de erosão**, a **poluição hídrica** e a **exploração dos recursos naturais** devido as atividades oriundas do uso da água dos açudes.

Tabela 8. Grau de importância dos critérios possibilidade de erosão, poluição hídrica e exploração dos recursos naturais.

Grau de importância	Possibilidade de erosão	Poluição hídrica	Exploração dos recursos naturais
Nenhum			
Baixo			
Médio			
Alto			
Muito alto			
Sem opinião formada			

→ Dado o caráter hierárquico, avaliar a importância entre os impactos nos meios **bióticos e abióticos**.

Tabela 9. Grau de importância dos critérios impacto no meio biótico e impacto no meio abiótico.

Grau de Importância	Impacto no meio biótico	Impacto no meio abiótico
Nenhum		
Baixo		
Médio		
Alto		
Muito alto		
Sem opinião formada		

ASPECTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS

Considerando o aspecto técnico-operacional, avalie a importância dos seguintes critérios:

→ Os *riscos*, a partir da construção aleatória dos açudes, discorrendo a importância dos **impactos à jusante** (redução da vazão afluente aos açudes a jusante), **os índices de Hashimoto (confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade) e segurança das barragens**, deduzidos a partir do volume que os açudes à jusante deixam de receber, das características das falhas de cada reservatório e do estado de conservação das barragens, respectivamente.

Mais especificamente:

Confiabilidade é, percentualmente, o número de sucessos no atendimento às demandas.

Resiliência está associada ao (inverso do) tempo médio para se restabelecer das falhas no atendimento das demandas.

Vulnerabilidade representa o tamanho médio das falhas em relação aos volumes requeridos para atender as demandas.

Tabela 10. Grau de importância dos critérios impactos à jusante, índices de Hashimoto e segurança das barragens.

Grau de Importância	Impactos à jusante	Índices de Hashimoto
Nenhum		
Baixo		
Médio		
Alto		
Muito alto		
Sem opinião formada		

→ O *desempenho do reservatório* levando em consideração a importância relativa da **Qr90** (vazão regularizada com 90% de garantia) e dos indicadores de eficiência e sustentabilidade do reservatório:

- **Potencialidade** é o valor médio anual do volume água afluente ao açude.

- **Disponibilidade** é o valor médio anual do volume de água que pode ser utilizado, ou seja, é a potencialidade menos as perdas.

Os três índices a seguir relacionam a potencialidade, a disponibilidade e o volume médio anual de uso efetivo da água:

- **IAP: Índice de Ativação da Potencialidade** é a relação entre a disponibilidade e a potencialidade;

- **IUD: Índice de Utilização da Disponibilidade** é a razão entre o volume de água efetivamente utilizado e a disponibilidade;

- **IUP: Índice de Utilização da Potencialidade** é a razão entre o volume de água efetivamente utilizado e a potencialidade.

Os cinco indicadores a seguir estão associados ao balanço hídrico no reservatório para volumes médios anuais.

- **η_{Vr}** : variabilidade volumétrica. Indica, percentualmente, se o açude, na média, está ganhando ou perdendo água;

- **η_E** : evaporação total indica, percentualmente; o quanto da potencialidade é perdida por evaporação;

- **η_p** : precipitação direta na bacia hidráulica do reservatório;

- **η_V** : água perdida por vertimento;

- **η_e ou IUP**: quanto da potencialidade foi efetivamente utilizada (numericamente é igual a IUP).

Tabela 11. Grau de importância dos critérios Qr90 e indicadores de eficiência e sustentabilidade do reservatório.

Grau de Importância	Qr90	IAP	IUD	IUP	η_{Vr}	η_E	η_p	η_V
Nenhum								
Baixo								
Médio								
Alto								
Muito alto								
Sem opinião formada								

Dado o caráter de aspecto hierárquico e comparativo, avaliar a importância relativa dos **Riscos e Desempenho do reservatório** na avaliação técnico-operacional.

Tabela 12. Grau de importância dos critérios riscos e desempenho do reservatório.

Grau de Importância	Riscos	Desempenho do reservatório
Nenhum		
Baixo		
Médio		
Alto		
Muito alto		
Sem opinião formada		

De um modo geral, considerando o caráter de aspecto hierárquico e comparativo, favor avaliar a importância dos **aspectos financeiro, social, ambiental e técnico-operacional**, de pequenos e médios açudes na região de Sumé.

Tabela 13. Grau de importância dos aspectos financeiro, social, ambiental e técnico-operacional.

Grau de Importância	Aspecto Financeiro	Aspecto Social	Aspecto Ambiental	Aspecto Técnico-Operacional
Nenhum				
Baixo				
Médio				
Alto				
Muito alto				
Sem opinião formada				

Caso não deseje ser identificado, não é necessário preencher a tabela abaixo.

DECISOR:	
EMAIL:	
TEL:()	CEL: ()

Houve dificuldades no preenchimento do questionário? Em caso afirmativo, indicar onde ocorreu o problema.

Agradecemos muito a sua valiosa contribuição.

APÊNDICE P – Fluxos de importância positivos e negativos referentes ao decisor II.

	3	44	51	71	72	73	75	132	144	181	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628	φ+
3		0,3428	0,514	0,5078	0,424	0,2523	0,206	0,5017	0,5101	0,5128	0,4162	0,2629	0,5207	0,5147	0,4269	0,406	0,1708	0,249	0,4704	0,4769	7,6859493
44	0,3364		0,3606	0,3656	0,3541	0,3408	0,3412	0,3917	0,3408	0,3364	0,3408	0,3414	0,3895	0,3423	0,3382	0,3676	0,3428	0,3408	0,3606	0,4135	6,74511481
51	0,3408	0,3772		0,3651	0,3178	0,3044	0,3189	0,3772	0,3562	0,3408	0,3408	0,3645	0,4129	0,3408	0,3419	0,347	0,3186	0,3186	0,3408	0,3772	6,60132091
71	0,4953	0,3728	0,3177		0,4908	0,296	0,3026	0,3152	0,4109	0,5348	0,4908	0,3247	0,418	0,462	0,2921	0,3724	0,2996	0,3006	0,1192	0,2309	6,84649722
72	0,3848	0,3771	0,4333	0,4378		0,2807	0,5309	0,4409	0,4091	0,4333	0,3364	0,161	0,4333	0,4355	0,5255	0,3746	0,3034	0,3503	0,3606	0,4378	7,04625401
73	0,4552	0,446	0,4445	0,4448	0,4587		0,4434	0,4536	0,439	0,4443	0,3433	0,4411	0,4392	0,4528	0,4333	0,4407	0,4532	0,4378	0,4422	0,4453	8,3584003
75	0,3497	0,4378	0,4471	0,4378	0,3784	0,3408		0,4562	0,3893	0,4226	0,3541	0,3848	0,4333	0,4177	0,5848	0,4511	0,3697	0,4378	0,3739	0,4511	7,71814885
132	0,3364	0,3408	0,3606	0,3651	0,3541	0,3408	0,3408		0,3408	0,3364	0,3408	0,3364	0,3848	0,3408	0,3408	0,3415	0,3408	0,3408	0,3606	0,4046	6,64780366
144	0,3408	0,4135	0,4138	0,4384	0,3764	0,3319	0,3655	0,4185		0,3849	0,3408	0,3944	0,4138	0,3934	0,3913	0,4206	0,3696	0,4224	0,3651	0,4914	7,39661194
181	0,2542	0,3562	0,3317	0,280	0,2311	0,2617	0,2933	0,3512	0,261		0,1964	0,3003	0,3645	0,1945	0,2888	0,3423	0,2584	0,2656	0,2972	0,3229	5,45357746
184	0,4378	0,1965	0,3194	0,4291	0,4641	0,1108	0,2063	0,1951	0,397	0,4378		0,2719	0,4901	0,479	0,2684	0,2686	0,2333	0,2372	0,2324	0,2657	5,93321756
191	0,3541	0,4236	0,4511	0,4358	0,3642	0,3178	0,363	0,4399	0,3784	0,4269	0,3675		0,4333	0,4289	0,3468	0,4511	0,3566	0,4135	0,3784	0,3905	7,51552676
238	0,4456	0,3807	0,4566	0,3965	0,4456	0,276	0,3091	0,2762	0,4322	0,4544	0,4322	0,2981		0,4361	0,2757	0,2789	0,2805	0,3071	0,2822	0,5049	6,77857022
248	0,4456	0,4075	0,3962	0,5885	0,3755	0,34	0,3934	0,4457	0,3908	0,5838	0,3408	0,3165	0,4455		0,3755	0,3895	0,3676	0,4072	0,3681	0,4014	7,44423987
255	0,3676	0,428	0,3073	0,4681	0,369	0,3148	0,3541	0,4578	0,3257	0,4291	0,3661	0,402	0,4542	0,4355		0,4496	0,3617	0,3163	0,3789	0,3897	7,68086951
277	0,3408	0,3549	0,4978	0,3428	0,3478	0,3044	0,2822	0,383	0,3651	0,4135	0,3408	0,3408	0,3333	0,4165	0,3408		0,3353	0,5319	0,3651	0,3772	6,82416368
401	0,4269	0,4236	0,4511	0,4378	0,4491	0,3408	0,4135	0,4511	0,4135	0,4091	0,3541	0,4419	0,4371	0,4135	0,4388	0,4439		0,4135	0,3893	0,3905	7,95335344
433	0,3946	0,413	0,4095	0,4135	0,3806	0,341	0,3424	0,464	0,4677	0,4304	0,3581	0,321	0,437	0,4255	0,2651	0,4581	0,3775		0,3842	0,4326	7,62909729
438	0,5635	0,5272	0,5878	0,4135	0,5405	0,4544	0,5272	0,529	0,5546	0,5635	0,4908	0,5582	0,4365	0,5645	0,564	0,5691	0,4336	0,5413		0,5272	9,94645389
628	0,3447	0,3878	0,3841	0,4106	0,3832	0,3982	0,4007	0,3872	0,3501	0,3389	0,3372	0,4258	0,3949	0,3439	0,421	0,4262	0,4152	0,3923	0,3848		7,33366734
φ	7,274	7,3743	8,0781	7,69	7,4744	5,964	6,5461	7,745	7,4824	8,0333	6,8882	6,8378	8,1631	7,8367	6,8457	7,5988	6,3876	6,924	6,654	7,6414	φ

APÊNDICE R – Fluxos de importância positivos e negativos referentes ao decisor IV.

	3	44	51	71	72	73	75	132	144	181	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628	φ+
3	-	0,4227	0,5274	0,5199	0,4592	0,3408	0,2315	0,5159	0,5098	0,5257	0,4343	0,2941	0,5281	0,5278	0,408	0,5017	0,192	0,2688	0,4839	0,4957	8,18720894
44	0,369	-	0,392	0,4134	0,4099	0,3895	0,3902	0,438	0,3895	0,369	0,3895	0,3787	0,4239	0,3911	0,3727	0,4055	0,3916	0,3895	0,392	0,4583	7,55330693
51	0,3895	0,4277	-	0,4124	0,3793	0,3588	0,3614	0,4277	0,392	0,3895	0,3895	0,4013	0,4452	0,3895	0,3915	0,4014	0,3486	0,3486	0,3895	0,4277	7,47107561
71	0,4983	0,3814	0,3206	-	0,4915	0,3107	0,317	0,3048	0,3759	0,5238	0,4983	0,322	0,4583	0,4248	0,2916	0,3828	0,3146	0,3152	0,1658	0,2197	6,91723864
72	0,415	0,3622	0,4609	0,4813	-	0,2716	0,3207	0,4847	0,4379	0,4609	0,369	0,1948	0,4609	0,4633	0,2985	0,3456	0,2774	0,3224	0,392	0,4813	7,30029673
73	0,4907	0,4904	0,4732	0,489	0,51	-	0,4874	0,4988	0,4672	0,473	0,3767	0,4694	0,4674	0,4978	0,4609	0,4694	0,4983	0,4813	0,4706	0,4896	9,06110658
75	0,3895	0,4813	0,4817	0,4813	0,4328	0,3895	-	0,5073	0,4354	0,4585	0,4099	0,415	0,4609	0,463	0,415	0,5017	0,4175	0,4813	0,4124	0,5017	8,53555117
132	0,369	0,3895	0,392	0,4124	0,4099	0,3895	0,3895	-	0,3895	0,369	0,3895	0,369	0,415	0,3895	0,3895	0,3909	0,3895	0,3895	0,392	0,4379	7,4622979
144	0,3895	0,4583	0,4587	0,4825	0,4507	0,369	0,4134	0,4638	-	0,4151	0,3895	0,4452	0,447	0,4399	0,4392	0,472	0,4174	0,4787	0,4124	0,4507	8,29293425
181	0,2857	0,3624	0,3418	0,3312	0,2632	0,2815	0,3122	0,3645	0,2497	-	0,2366	0,3304	0,4166	0,1877	0,3168	0,3797	0,253	0,2627	0,3072	0,3242	5,80685614
184	0,4813	0,2441	0,4377	0,4665	0,5389	0,1833	0,2628	0,2502	0,404	0,4813	-	0,3455	0,5431	0,5326	0,332	0,3438	0,2986	0,2847	0,2985	0,3697	7,07847622
191	0,4099	0,4915	0,5017	0,4991	0,443	0,3793	0,4303	0,5151	0,4328	0,4787	0,4303	-	0,4609	0,481	0,3895	0,5047	0,4126	0,4583	0,4328	0,4481	8,59664056
238	0,4405	0,3226	0,4431	0,3342	0,4405	0,3196	0,3465	0,322	0,4201	0,4609	0,4201	0,3286	-	0,4243	0,3195	0,3215	0,3245	0,3447	0,3112	0,4889	7,13337225
248	0,3895	0,464	0,486	0,4325	0,4457	0,3847	0,4331	0,4965	0,4383	0,415	0,3895	0,4842	0,4863	-	0,4225	0,4628	0,4172	0,4663	0,4183	0,4307	8,39315158
255	0,4247	0,4857	0,5195	0,5149	0,4365	0,3793	0,4215	0,5349	0,4242	0,4759	0,423	0,4494	0,4729	0,4803	-	0,4943	0,412	0,4614	0,4276	0,4415	8,67942144
277	0,3895	0,3869	0,4813	0,3716	0,3793	0,3588	0,318	0,4141	0,4124	0,4583	0,3895	0,3895	0,4609	0,4616	0,3895	-	0,3728	0,369	0,4124	0,4277	7,6430703
401	0,4787	0,4813	0,5017	0,4813	0,5196	0,3895	0,4583	0,5017	0,4583	0,4379	0,4099	0,4893	0,4681	0,4583	0,4832	0,4931	-	0,4583	0,4354	0,4481	8,85199919
433	0,4159	0,4871	0,5102	0,4627	0,4557	0,4099	0,3923	0,5159	0,4154	0,4671	0,4142	0,42	0,4656	0,4715	0,4124	0,5121	0,4261	-	0,4392	0,4965	8,59034035
438	0,5672	0,5366	0,5901	0,4583	0,557	0,4677	0,5366	0,5386	0,5468	0,5672	0,4983	0,5537	0,467	0,5682	0,568	0,5779	0,4284	0,5264	-	0,5366	10,0903359
628	0,3832	0,4595	0,4407	0,4764	0,4693	0,4727	0,4776	0,475	0,3955	0,3701	0,3707	0,4904	0,4614	0,3817	0,4812	0,4911	0,4878	0,4495	0,4419	-	8,45556427
φ-	7,9764	8,1351	8,7608	8,5212	8,4917	6,8453	7,3004	8,5693	7,9946	8,597	7,6281	7,5708	8,8093	8,4338	7,5913	8,449	7,0899	7,5567	7,4353	8,3946	φ

APÊNDICE S – Fluxos de importância positivos e negativos referentes ao decisor V.

	3	44	51	71	72	73	75	132	144	181	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628	φ+
3	-	0,4215	0,5302	0,5298	0,4604	0,3259	0,2483	0,5379	0,5134	0,528	0,4215	0,2953	0,5394	0,5304	0,42	0,4877	0,2017	0,2918	0,475	0,511	8,26908549
44	0,3408	-	0,3676	0,3844	0,372	0,3564	0,3573	0,4125	0,3564	0,3408	0,3564	0,3521	0,4047	0,358	0,345	0,3833	0,3585	0,3564	0,3676	0,4368	7,00683275
51	0,3564	0,4189	-	0,3832	0,3542	0,3385	0,3451	0,4189	0,3676	0,3564	0,3564	0,3739	0,4297	0,3564	0,3588	0,3703	0,3251	0,3251	0,3564	0,4189	7,01020329
71	0,4536	0,3461	0,2879	-	0,4432	0,2637	0,2711	0,2745	0,3443	0,4916	0,4536	0,285	0,4368	0,4008	0,2495	0,3478	0,2676	0,2689	0,1371	0,202	6,22520382
72	0,3943	0,3617	0,4479	0,4635	-	0,256	0,3133	0,4668	0,4211	0,4479	0,3408	0,1746	0,4479	0,4503	0,2956	0,3505	0,2703	0,3235	0,3676	0,4635	7,0571407
73	0,4726	0,4723	0,4599	0,471	0,4872	-	0,4695	0,4805	0,454	0,4596	0,3482	0,4562	0,4542	0,4795	0,4479	0,4563	0,48	0,4635	0,4574	0,4716	8,74148773
75	0,3564	0,4635	0,464	0,4635	0,3988	0,3564	-	0,4846	0,41	0,437	0,372	0,3943	0,4479	0,4412	0,3943	0,4792	0,3881	0,4635	0,3832	0,4792	8,07723593
132	0,3408	0,3564	0,3676	0,3832	0,372	0,3564	0,3564	-	0,3564	0,3408	0,3564	0,3408	0,3943	0,3564	0,3564	0,358	0,3564	0,3564	0,3676	0,4211	6,89376223
144	0,3564	0,4368	0,4371	0,4649	0,4033	0,3408	0,3843	0,442	-	0,3944	0,3564	0,4215	0,4317	0,4143	0,4144	0,4527	0,388	0,4524	0,3832	0,4457	7,82034111
181	0,2642	0,3855	0,3614	0,3552	0,2616	0,2908	0,327	0,3879	0,2704	-	0,2249	0,3506	0,417	0,198	0,3348	0,3821	0,2743	0,2856	0,3032	0,3409	5,99549883
184	0,4635	0,2499	0,4	0,4627	0,5277	0,1709	0,2717	0,2562	0,4023	0,4635	-	0,3341	0,5311	0,51	0,3183	0,3321	0,2716	0,2795	0,2792	0,3466	6,87482657
191	0,372	0,4769	0,4792	0,468	0,4122	0,3542	0,3876	0,4957	0,3988	0,4524	0,3876	-	0,4479	0,4546	0,3564	0,4792	0,3747	0,4368	0,3988	0,4345	8,06746562
238	0,4097	0,2804	0,421	0,3237	0,4097	0,2769	0,3038	0,2786	0,3941	0,4253	0,3941	0,2909	-	0,3982	0,2767	0,2791	0,2817	0,3016	0,2969	0,4745	6,51702703
248	0,3564	0,4316	0,469	0,4148	0,4057	0,359	0,411	0,4813	0,4134	0,3943	0,3564	0,4542	0,4776	-	0,4067	0,4338	0,3888	0,4323	0,3901	0,4457	7,94300224
255	0,3864	0,4754	0,4964	0,492	0,41	0,3542	0,3833	0,5118	0,3946	0,4538	0,3848	0,4235	0,4595	0,458	-	0,4761	0,3782	0,4397	0,3979	0,4322	8,21081685
277	0,3564	0,3876	0,4635	0,3519	0,3542	0,3385	0,3073	0,4185	0,3832	0,4368	0,3564	0,3564	0,4479	0,4399	0,3564	-	0,3444	0,3408	0,3832	0,4189	7,24230471
401	0,4524	0,4635	0,4792	0,4635	0,4826	0,3564	0,4368	0,4792	0,4368	0,4211	0,372	0,4729	0,4563	0,4368	0,4658	0,4773	-	0,4368	0,41	0,4345	8,43472326
433	0,3779	0,4691	0,4879	0,441	0,4081	0,372	0,3591	0,4929	0,386	0,4453	0,3763	0,391	0,4528	0,4495	0,3832	0,4904	0,3964	-	0,405	0,4818	8,06583078
438	0,534	0,5161	0,5608	0,4368	0,5317	0,4558	0,5161	0,518	0,5184	0,534	0,4536	0,5264	0,455	0,535	0,535	0,5465	0,406	0,5027	-	0,5161	9,57795299
628	0,3573	0,4859	0,4161	0,4589	0,4351	0,4408	0,4465	0,4474	0,3717	0,342	0,3427	0,4696	0,4403	0,365	0,4589	0,4704	0,4426	0,4219	0,4175	-	7,96157185
φ	7,4016	7,8634	8,3966	8,191	7,9288	6,3435	6,8954	8,2881	7,5927	8,165	7,0105	7,1633	8,5721	8,0223	7,174	8,053	6,5945	7,1802	6,9768	8,1755	φ

APÊNDICE T – Fluxos de importância positivos e negativos referentes ao decisor VI.

	3	44	51	71	72	73	75	132	144	181	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628	φ+
3		0,3584	0,5211	0,5286	0,4498	0,2741	0,2226	0,5371	0,5243	0,5186	0,4234	0,2769	0,5396	0,5212	0,4435	0,4284	0,176	0,259	0,4818	0,4955	7,97991176
44	0,349	-	0,373	0,3843	0,369	0,359	0,36	0,4098	0,359	0,349	0,359	0,362	0,4089	0,3608	0,3539	0,3912	0,3613	0,359	0,373	0,431	7,0721329
51	0,359	0,407	-	0,383	0,345	0,335	0,355	0,407	0,378	0,359	0,359	0,396	0,4308	0,359	0,3617	0,375	0,339	-0,339	0,359	0,407	7,05358317
71	0,4865	0,3503	0,2842	-	0,4815	0,2743	0,2825	0,2859	0,3966	0,5245	0,4865	0,2995	0,431	0,4477	0,2654	0,3507	0,2785	0,2801	0,1087	0,2117	6,52598471
72	0,397	0,3857	0,445	0,455	-	0,2908	0,3417	0,4585	0,421	0,445	0,349	0,1534	0,445	0,4475	0,3301	0,3797	0,3081	0,3549	0,373	0,455	7,23548067
73	0,4648	0,4645	0,4579	0,4631	0,4737	-	0,4614	0,4733	0,4515	0,4577	0,357	0,4539	0,4518	0,4723	0,445	0,4542	0,4728	0,455	0,4552	0,4637	8,64872967
75	0,359	0,455	0,4555	0,455	0,393	0,359	-	0,4708	0,407	0,4312	0,369	0,397	0,445	0,4358	0,397	0,465	0,3884	0,455	0,383	0,465	7,98571838
132	0,349	0,359	0,373	0,383	0,369	0,359	0,359	-	0,359	0,349	0,359	0,349	0,397	0,359	0,359	0,3609	0,359	0,359	0,373	0,426	6,9598998
144	0,359	0,431	0,4313	0,4566	0,389	0,354	0,3843	0,4367	-	0,3971	0,359	0,4203	0,4332	0,4117	0,4121	0,4494	0,3882	0,441	0,383	0,431	7,76795927
181	0,2708	0,4033	0,375	0,3338	0,2776	0,3201	0,3544	0,4059	0,3094	-	0,2213	0,3744	0,4121	0,2284	0,3562	0,4018	0,31	0,3228	0,3308	0,3533	6,36159399
184	0,455	0,2242	0,3399	0,47	0,5137	0,151	0,2473	0,231	0,42	0,455	-	0,3063	0,535	0,5025	0,2881	0,3047	0,2507	0,2597	0,2437	0,285	6,48290561
191	0,369	0,451	0,465	0,431	0,389	0,35	0,379	0,4644	0,393	0,441	0,379	-	0,445	0,4433	0,399	0,465	0,3719	0,431	0,393	0,417	7,85657716
238	0,4525	0,2738	0,4616	0,334	0,4475	0,2688	0,3048	0,2694	0,4373	0,4575	0,4375	0,2978	-	0,442	0,2685	0,2719	0,2739	0,3024	0,31	0,5095	6,82079553
248	0,359	0,4542	0,4613	0,4255	0,4048	0,375	0,432	0,4754	0,4109	0,397	0,359	0,4602	0,4791	-	0,4101	0,4333	0,3895	0,4371	0,3909	0,431	7,98552651
255	0,3843	0,4612	0,4836	0,4838	0,3985	0,35	0,3862	0,485	0,3953	0,4494	0,3828	0,4216	0,4575	0,454	-	0,4686	0,3825	0,4342	0,3989	0,4214	8,09911076
277	0,359	0,387	0,455	0,363	0,345	0,335	0,315	0,4154	0,383	0,431	0,359	0,359	0,445	0,4344	0,359	-	0,3579	0,354	0,383	0,407	7,24677837
401	0,441	0,455	0,465	0,455	0,461	0,359	0,431	0,465	0,431	0,421	0,369	0,4657	0,4547	0,431	0,4576	0,4709	-	0,431	0,407	0,422	8,2928012
433	0,4754	0,461	0,4744	0,4356	0,3943	0,369	0,362	0,4798	0,3861	0,4402	0,3736	0,3916	0,4504	0,4448	0,383	0,4777	0,3973	-	0,3997	0,4612	7,95702067
438	0,5585	0,5445	0,5825	0,431	0,5445	0,4625	0,5345	0,5366	0,5555	0,5585	0,4865	0,5628	0,4532	0,5596	0,5596	0,5729	0,4441	0,5585	-	0,5345	10,0082716
628	0,568	0,4288	0,421	0,4622	0,4314	0,4523	0,4574	0,4487	0,3846	0,3504	0,3512	0,4846	0,4488	0,3652	0,4736	0,4869	0,4552	0,4375	0,4226	-	8,13039586
φ	7,516	7,745	8,3254	8,1536	7,8771	6,3979	6,97	8,1558	7,8007	8,2321	7,1398	7,2321	8,5632	8,1202	7,2823	8,0082	6,7043	7,2502	6,9695	8,0278	0

APÊNDICE U – Fluxos de importância positivos e negativos referentes ao decisor VII.

	3	44	51	71	72	73	75	132	144	181	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628	φ-
3	-	0,4452	-0,4876	-0,5078	0,4706	-0,355	-0,259	-0,5292	-0,4901	0,4852	0,3946	-0,3008	0,4997	0,4889	0,3959	0,4865	0,2222	0,2966	0,4521	0,4955	8,06245409
44	0,3167	-	-0,3395	0,3485	0,3568	0,3247	0,3254	0,3751	0,3247	0,3167	0,3247	0,3257	0,3707	0,3277	0,32	0,3521	0,3286	0,3247	0,3395	0,3933	6,43512257
51	0,3247	0,4025	-	0,3796	0,366	-0,3339	0,3406	0,4025	-0,3395	0,3247	0,3247	0,3561	0,3921	0,3247	0,3266	0,3358	0,3087	0,3087	0,3247	0,4025	6,61860252
71	0,4753	0,3687	0,3137	-	0,4709	0,2985	0,3044	0,2913	0,35	0,4889	0,4512	0,3215	0,4173	0,4011	0,2916	0,3701	0,3052	0,3027	0,1415	0,1997	6,56345352
72	0,3624	0,3143	0,4081	0,4161	-	0,224	0,2727	0,4222	0,3852	0,4081	0,3167	0,1662	0,4081	0,4124	0,263	0,3098	0,2444	0,2868	0,3395	0,4161	6,37629698
73	0,4569	0,4324	0,4302	0,4299	0,4631	-	0,4271	0,4473	0,4193	0,4297	0,3304	0,4233	0,4197	0,4456	0,4081	0,4224	0,4465	0,4161	0,4255	0,431	8,10475254
75	0,3488	0,4161	0,441	0,4161	0,3796	0,3247	-	0,4582	0,3704	0,4177	0,3568	0,3624	0,4081	0,4015	0,3624	0,4482	0,3567	0,4161	0,3716	0,4482	7,50465194
132	0,3167	0,3247	0,3395	0,3476	0,3568	0,3247	0,3247	-	0,3247	0,3167	0,3247	0,3167	0,3624	0,3247	0,3247	0,326	0,3247	0,3247	0,3395	0,3852	6,32932265
144	0,3247	0,3983	0,3939	0,4172	0,4049	0,3167	0,3484	0,403	-	0,3626	0,3247	0,3796	0,3937	0,3785	0,374	0,406	0,3565	0,4253	0,3476	0,4253	7,17590436
181	0,2502	0,3653	0,314	0,3333	0,28	0,2839	0,3142	0,3672	0,2459	-	0,2101	0,3211	0,3781	0,1865	0,3085	0,3504	0,2489	0,258	0,2717	0,3297	5,61720525
184	0,4161	0,2448	0,3978	0,4244	0,5431	0,3875	0,2623	0,254	0,3663	0,4161	-	0,3118	0,5072	0,489	0,2991	0,3102	0,2744	0,2771	0,2679	0,3591	6,60827386
191	0,3568	0,4414	0,4482	0,4414	0,4049	0,3419	0,3728	0,4792	0,3716	0,4253	0,3808	-	0,4081	0,4213	0,3247	0,4482	0,3537	0,3933	0,3796	0,4346	7,62787819
238	0,424	0,325	0,439	0,3125	0,448	0,3222	0,3567	0,3289	0,416	0,432	0,416	0,3349	-	0,4236	0,3221	0,324	0,3309	0,355	0,2895	0,4845	7,08459167
248	0,3247	0,411	0,4205	0,4787	0,4113	0,3513	0,3873	0,4303	0,3701	0,3624	0,3247	0,437	0,4318	-	0,3663	0,4077	0,3521	0,4202	0,3531	0,4253	7,34877298
255	0,3833	0,4594	0,4801	0,4799	0,4216	0,3419	0,3856	0,5145	0,3686	0,4247	0,3803	0,3954	0,4295	0,4326	-	0,4493	0,3649	0,3987	0,3748	0,4271	7,90225862
277	0,3247	0,3544	0,4161	0,3315	0,366	-0,3339	0,2858	0,3848	0,3476	0,3933	0,3247	0,3247	0,4081	0,3991	0,3247	-	0,3234	0,3167	0,3476	0,4025	6,70944057
401	0,4253	0,4161	0,4482	0,4161	0,4735	0,3247	0,3933	0,4482	0,3933	0,3852	0,3568	0,4256	0,4148	0,4033	0,4120	0,4271	-	0,3933	0,3704	0,4105	7,73159022
433	0,3676	0,4204	0,4615	0,4012	0,4130	0,3488	0,3297	0,4735	0,3528	0,432	0,3646	0,3591	0,4153	0,4168	0,3476	0,4615	0,372	-	0,3911	0,4743	7,61343293
438	0,3198	0,529	0,5426	0,4253	0,5611	0,4604	0,529	0,5325	0,5117	0,5198	0,4512	0,5182	0,4138	0,5216	0,5205	0,5298	0,415	0,5037	-	0,529	9,53403258
628	0,3299	0,4043	0,398	0,4087	0,4252	0,4248	0,4293	0,422	0,4414	0,4157	0,4182	0,4590	0,4133	0,4306	0,4452	0,4544	0,4351	0,4141	0,3991	-	7,56921017
φ-	7,0485	7,4747	7,9223	7,6159	8,0174	6,2035	6,6483	7,964	7,0922	7,6398	6,6758	6,8712	7,3958	7,3193	6,743	7,6096	6,3637	6,8318	6,5263	7,8735	φ

APÊNDICE V – Fluxos de importância positivos e negativos referentes ao decisor VIII.

	3	44	51	71	72	73	75	132	144	181	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628	Φ
3	-	0,3917	0,5004	0,4797	0,4029	0,2757	0,2727	0,5012	0,4942	0,499	0,3662	0,3238	0,4839	0,5028	0,4463	0,4503	0,2309	0,334	0,4398	0,4762	7,87170722
44	0,2776	-	0,3109	0,5387	0,3255	0,3048	0,3052	0,3773	0,3048	0,2776	0,3048	0,2824	0,3487	0,3085	0,2794	0,3176	0,3096	0,3048	0,3109	0,4048	5,99385308
51	0,3048	0,3814	-	0,3314	0,3018	0,2814	0,2984	0,3814	0,3245	0,3048	0,3048	0,334	0,3812	0,3048	0,3059	0,3108	0,2639	0,2639	0,3048	0,3814	6,06553141
71	0,4344	0,452	0,3682	-	0,4321	0,3498	0,3565	0,3625	0,4118	0,4942	0,4548	0,3651	0,3844	0,4849	0,3238	0,4533	0,3579	0,3546	0,1515	0,289	7,28104656
72	0,3442	0,4265	0,4109	0,4382	-	0,2943	0,3642	0,4456	0,3776	0,4109	0,2776	0,2186	0,4109	0,4162	0,3352	0,4024	0,3071	0,3694	0,3109	0,4382	6,99890976
73	0,4518	0,458	0,4378	0,455	0,4768	-	0,4516	0,4762	0,4246	0,4373	0,2943	0,4295	0,4251	0,4741	0,4109	0,4277	0,4752	0,4582	0,4321	0,4563	8,33244758
75	0,298	0,4382	0,4323	0,4382	0,3586	0,3048	-	0,4708	0,3715	0,3985	0,3253	0,3442	0,4109	0,4149	0,3442	0,4586	0,3493	0,4382	0,3314	0,4586	7,38679965
132	0,2776	0,3048	0,3109	0,3382	0,3253	0,3048	0,3048	-	0,3048	0,2776	0,3048	0,2776	0,3442	0,3048	0,3048	0,3056	0,3048	0,3048	0,3109	0,3912	5,90267333
144	0,3048	0,4048	0,4056	0,4388	0,3594	0,2912	0,3387	0,4168	-	0,3445	0,3048	0,3764	0,3821	0,3813	0,3734	0,4117	0,3491	0,4117	0,3382	0,4147	7,04790938
181	0,291	0,4114	0,3952	0,351	0,2615	0,2821	0,3229	0,4066	0,2745	-	0,2546	0,3458	0,4453	0,2056	0,3348	0,3723	0,2764	0,2835	0,3149	0,3778	6,20727136
184	0,4382	0,2916	0,3762	0,4102	0,4919	0,1759	0,3032	0,2957	0,4489	0,4382	-	0,3677	0,477	0,494	0,3567	0,3639	0,3151	0,3145	0,3292	0,3356	7,02349824
191	0,3253	0,4556	0,4586	0,4389	0,3761	0,3086	0,3389	0,4831	0,3586	0,4253	0,3458	-	0,4109	0,4302	0,3048	0,4586	0,3313	0,4048	0,3586	0,4018	7,4160509
238	0,4086	0,2723	0,4149	0,2647	0,4018	0,2689	0,3107	0,277	0,3814	0,4223	0,3814	0,2928	-	0,3907	0,2687	0,271	0,2794	0,3088	0,2314	0,4814	6,32795657
248	0,3048	0,4261	0,4405	0,3665	0,3534	0,299	0,3715	0,4458	0,373	0,3442	0,3048	0,3978	0,4236	-	0,3482	0,3599	0,3406	0,3878	0,3411	0,4147	7,04351615
255	0,3577	0,4737	0,4975	0,4874	0,3925	0,3086	0,3506	0,5261	0,3638	0,4432	0,334	0,402	0,437	0,4528	-	0,4665	0,3538	0,4115	0,3714	0,4114	7,86148076
277	0,3048	0,3473	0,4382	0,2973	0,3018	0,2814	0,2473	0,3898	0,3382	0,4048	0,3048	0,3048	0,4109	0,312	0,3048	-	0,2994	0,2912	0,3382	0,3814	6,39847767
401	0,4253	0,4382	0,4586	0,4382	0,4594	0,3048	0,4048	0,4586	0,4048	0,3776	0,3253	0,3322	0,4185	0,4048	0,4391	0,4441	-	0,4048	0,3215	0,4086	7,82543142
433	0,4385	0,4308	0,4783	0,4145	0,3703	0,3253	0,311	0,4895	0,3446	0,4172	0,3348	0,3507	0,4186	0,4336	0,3382	0,4708	0,368	-	0,3726	0,4733	7,500442
438	0,5548	0,5314	0,5882	0,398	0,5518	0,4314	0,5314	0,5357	0,5412	0,5548	0,4548	0,5446	0,414	0,5571	0,5553	0,5602	0,4006	0,5139	-	0,5314	9,75059261
628	0,2846	0,3583	0,3318	0,392	0,3515	0,3694	0,3734	0,3718	0,2908	0,2781	0,2784	0,3853	0,3473	0,286	0,3791	0,384	0,3769	0,3419	0,3324	-	6,50962928
Φ	6,7271	7,7138	8,055	7,5169	7,2944	5,7623	6,5379	8,1113	7,1336	7,6501	6,2764	6,7853	7,7652	7,6613	6,7538	7,6893	6,2894	6,8825	6,2919	7,9276	0

APÊNDICE W – Fluxos de importância positivos e negativos referentes ao decisor IX.

	3	44	51	71	72	73	75	132	144	181	184	191	238	248	255	277	401	433	438	628	φ+
3		0,3871	0,517	0,5291	0,464	0,3239	0,2049	0,5027	0,5083	0,5146	0,4385	0,2655	0,5259	0,5176	0,3943	0,4513	0,1699	0,2351	0,4805	0,4937	7,92380874
44	0,3585		0,3777	0,3896	0,3859	0,3695	0,3701	0,4112	0,3695	0,3585	0,3695	0,3674	0,4051	0,3715	0,3618	0,3902	0,3721	0,3695	0,3777	0,4271	7,20228232
51	0,3695	0,4052		0,4052	0,364	0,3475	0,3499	0,4052	0,3777	0,3695	0,3695	0,386	0,4229	0,3695	0,3713	0,3805	0,3475	0,3475	0,3695	0,4052	7,16259896
71	0,501	0,3427	0,2926		0,5008	0,2824	0,2893	0,29	0,3737	0,5285	0,501	0,3001	0,4271	0,4158	0,2726	0,3437	0,2872	0,2873	0,1225	0,2076	6,56601869
72	0,3969	0,3276	0,4354	0,4464		0,2518	0,2932	0,4506	0,4162	0,4354	0,3585	0,152	0,4354	0,4384	0,2806	0,3201	0,2639	0,3007	0,3777	0,4464	6,82690083
73	0,4635	0,4576	0,4506	0,4559	0,4732		0,454	0,468	0,4431	0,4504	0,368	0,4459	0,4434	0,4668	0,4354	0,4456	0,4674	0,4464	0,4474	0,4566	8,53928601
75	0,3749	0,4464	0,4524	0,4464	0,4052	0,3695		0,4698	0,4079	0,4329	0,3859	0,3969	0,4354	0,4329	0,3969	0,4629	0,395	0,4464	0,3942	0,4629	8,01462023
132	0,3585	0,3695	0,3777	0,3887	0,3859	0,3695	0,3695		0,3695	0,3585	0,3695	0,3585	0,3969	0,3695	0,3695	0,3708	0,3695	0,3695	0,3777	0,4162	7,11427184
144	0,3695	0,4329	0,4276	0,4475	0,4244	0,3585	0,3896	0,4339		0,397	0,3695	0,417	0,4245	0,4135	0,4114	0,4398	0,3949	0,4381	0,3887	0,4244	7,79676142
181	0,5146	0,3585	0,3695	0,3887	0,3859	0,3695	0,3695	0,3695	0,3585		0,3695	0,3585	0,3969	0,3695	0,3695	0,3708	0,3695	0,3695	0,3777	0,4162	5,3501978
184	0,4385	0,3695	0,3695	0,3887	0,3859	0,3695	0,3695	0,3695	0,3585	0,3695		0,3585	0,3969	0,3695	0,3695	0,3708	0,3695	0,3695	0,3777	0,4162	6,08985993
191	0,3859	0,4464	0,4629	0,4656	0,4052	0,3585	0,4079	0,4668	0,4052	0,4456	0,4074		0,4354	0,4464	0,3695	0,4629	0,3893	0,4271	0,4052	0,4216	8,0077329
238	0,4624	0,5315	0,4707	0,339	0,4679	0,3278	0,3513	0,3307	0,4514	0,4734	0,4514	0,5374		0,4567	0,3276	0,3301	0,3338	0,3493	0,3198	0,5091	7,42099242
248	0,3695	0,4383	0,4507	0,4131	0,4277	0,3729	0,4134	0,4604	0,4106	0,3969	0,3695	0,4049	0,4588		0,4073	0,4274	0,3931	0,4283	0,3941	0,4244	7,90120525
255	0,4043	0,4534	0,4849	0,4902	0,4113	0,3585	0,4113	0,4913	0,4032	0,4489	0,4022	0,4252	0,4502	0,4544		0,4624	0,3973	0,4309	0,4075	0,4222	8,20975915
277	0,3695	0,3667	0,4464	0,3667	0,364	0,3475	0,309	0,3912	0,3887	0,4271	0,3695	0,3695	0,4354	0,4312	0,3695		0,3631	0,3585	0,3887	0,4052	7,26701583
401	0,4436	0,4464	0,4629	0,4464	0,4821	0,3695	0,4271	0,4629	0,4271	0,4152	0,3849	0,4317	0,442	0,4271	0,4484	0,4873		0,4271	0,4079	0,4162	8,24950632
433	0,3934	0,4535	0,474	0,4326	0,4306	0,3859	0,3729	0,4804	0,3923	0,4435	0,291	0,3973	0,4408	0,435	0,3887	0,4737	0,4056		0,4131	0,458	8,07131036
438	0,5587	0,5368	0,578	0,4436	0,5332	0,4791	0,5368	0,4392	0,5376	0,3987	0,361	0,544	0,449	0,56	0,5595	0,5686	0,4425	0,5368		0,5368	10,0322686
628	0,3715	0,4243	0,4148	0,4458	0,4329	0,364	0,4407	0,4397	0,4329	0,4329	0,3695	0,4329	0,4339	0,3709	0,4499	0,459	0,4384	0,4226	0,4159		7,95728216
φ-	7,6448	7,5901	8,2421	8,092	8,1196	6,5239	6,8976	8,0287	7,6366	8,2564	7,3614	7,0177	8,2488	8,0517	7,164	7,869	6,706	7,111	7,003	7,9511	φ