



Universidade de Brasília

Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia - FACE

Departamento de Economia

Centro de Estudos em Economia e Meio Ambiente e Agricultura - CEEMA

MESTRADO EM GESTÃO ECONÔMICA DO MEIO AMBIENTE

**MÉTODO MULTICRITÉRIO DE ANÁLISE DE DECISÃO: SIMULAÇÃO DA  
SELEÇÃO DE ESTRATÉGIA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM  
INDÚSTRIAS DE PETRÓLEO**

BRUNA M. N. HALAMA

BRASÍLIA, 2014

**BRUNA M. N. HALAMA**

**“Método Multicritério de Análise de Decisão: Simulação da Seleção de Estratégia de Abastecimento de Água em Indústrias de Petróleo”**

**Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Zuchi da Conceição**

Dissertação aprovada como requisito para a obtenção do título de **Mestre em Economia - Gestão Econômica do Meio Ambiente** do Programa de Pós-Graduação em Economia – Departamento de Economia da Universidade de Brasília, por intermédio do Centro de Estudos em Economia, Meio Ambiente e Agricultura (CEEMA). Comissão Examinadora formada pelos professores:

---

Prof. Dr. Pedro Henrique Zuchi da Conceição  
Departamento de Economia – UnB

---

Prof. Dr. Jorge Madeira Nogueira  
Departamento de Economia – UnB

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Denise Imbroisi  
Departamento de Economia – UnB

## AGRADECIMENTOS

A Renato Rosenberg, meu coordenador na época em que trabalhei no Ministério do Meio Ambiente, por me apresentar o programa de mestrado e incentivar a minha participação.

Ao corpo docente do CEEMA por compartilhar com os seus alunos o maior bem que possuem: o conhecimento.

Aos colegas do CEEMA pelo tempo que passamos juntos e pelo companheirismo durante todo o aprendizado.

Ao professor Pedro Zuchi, pela orientação do trabalho e pelas palavras de otimismo nos momentos de dificuldade.

À Comissão Examinadora, formada pelos professores Pedro Zuchi, Jorge Nogueira e Denise Imbroisi, pela atenção e pelo tempo dedicados à avaliação da dissertação.

À equipe técnica da empresa onde foi realizado o estudo de caso pelo acesso às informações e pelo incentivo.

Aos meus pais, pela excelente educação recebida e pelo apoio durante a realização dos meus estudos.

A Eliciane Halama, pelo apoio incondicional.

## RESUMO

Processos de tomada de decisão são complexos e possuem influência direta na competitividade das empresas. Para estruturar esses processos e aumentar a confiabilidade das escolhas foram desenvolvidas algumas técnicas. No entanto, todas as ferramentas possuem vantagens e limitações, e cabe aos gestores a seleção do método mais apropriado para cada caso específico. A partir da simulação da aplicação de Método Multicritério de Análise de Decisão (MMAD) na seleção de estratégia de abastecimento de água em plataforma de exploração de petróleo avaliou-se o uso da ferramenta como elemento de suporte à tomada de decisão. As alternativas avaliadas, em ordem decrescente de preferência, foram: 1) implantação de sistema para dessalinização de água do mar na plataforma; 2) utilização de água tratada em base terrestre da empresa produtora; 3) aquisição de água da companhia de saneamento da região; e 4) captação e desinfecção de água subterrânea. Os critérios definidos para a avaliação das opções foram a disponibilidade quantitativa de água, a disponibilidade qualitativa de água e o custo da implantação e operação das alternativas em um horizonte temporal de cinco anos. Para a agregação das avaliações das alternativas de acordo com os critérios empregaram-se métodos de critério único de síntese. Na empresa estudada são utilizadas as duas estratégias mais indicadas, o que permite concluir que o resultado da pesquisa é condizente com a avaliação dos profissionais atuantes na companhia. Entre as vantagens dos MMAD destaca-se a facilidade na incorporação de aspectos qualitativos e de incertezas na análise, o que é fundamental em questões ambientais. Além disso, os métodos promovem a adequada estruturação dos problemas avaliados, o que é fundamental para que eles sejam resolvidos. Entre as limitações das técnicas ressalta-se o seu custo elevado, que se deve à dificuldade na obtenção das informações necessárias para a avaliação das alternativas e ao tempo requerido para a pontuação das opções, etapa que deve ser executada por profissionais com conhecimento técnico e experiência na área de estudo.

**Palavras-chave:** Processos de tomada de decisão, Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD), plataformas de produção de petróleo.

## ABSTRACT

Decision-making processes are complex and have direct influence in the competitiveness of companies. To structure these processes and increase the reliability of the choices some techniques were developed. However, all the tools have advantages and limitations, and it is up to managers to select the most appropriate method for each specific case. From the simulation of the application of a Multicriteria Decision Analysis (MCDA) method in the selection of water supply strategy for oil exploration platform the tool was evaluated as a support element for decision making. The alternatives evaluated, in decreasing order of preference, were: 1) deployment of a system for desalination of seawater in the platform; 2) use of treated water from a land base of the company; 3) purchase of water in the sanitation company of the region; and 4) capture and disinfection of groundwater. The criteria used for evaluating the options were quantitative water availability, qualitative water availability and the cost of implementation and operation of the alternatives in a horizon of five years. For the aggregation of the evaluation of the alternatives according to the criteria were employed methods of single criterion for synthesis. In the company studied are used the two most appropriate strategies according with this study, which shows that the search result is consistent with the assessment of professionals working in the firm. Among the advantages of MCDA methods highlights the ease in incorporating qualitative aspects and uncertainties in the analysis, which is critical in environmental issues. In addition, the methods promote the proper structuring of the problems evaluated, which is essential for them to be resolved. Among the limitations of the techniques highlights its high cost, which is due to the difficulty in obtaining the information necessary for the evaluation of alternatives and the time required for the score of the options, step that must be performed by professionals with technical knowledge and experience in the study area.

**Keywords:** Decision-making processes, Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), oil production platforms.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Capítulo 1 – Introdução .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>Capítulo 2 – Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD): Estado das Artes .....</b>      | <b>16</b> |
| 2.1 Processos de tomada de decisão .....   | 16        |
| Análise Custo Benefício (ACB) .....  | 16        |
| Análise Custo Efetividade (ACE).....   | 18        |
| Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) .....  | 19        |
| 2.2 Referencial teórico dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) .....                | 20        |
| 2.3 Metodologias propostas para os MMAD.....   | 23        |
| Metodologia proposta por Renn (1986).....  | 23        |
| Sugestões de Belton e Stewart (2002) .....   | 28        |
| 2.4 Métodos de agregação utilizados nos MMAD .....   | 31        |
| Agregação por meio de métodos de critério único de síntese.....                                      | 31        |
| Agregação via métodos de subordinação ou outranking .....  | 37        |
| Agregação via métodos interativos.....   | 38        |
| Considerações finais .....   | 39        |
| 2.5 Vantagens e limitações dos MMAD.....   | 41        |
| <b>Capítulo 3 – MMAD, Abastecimento de Água e Exploração de Petróleo: Etapas Preliminares .....</b>  | <b>45</b> |
| 3.1 Proposição de metodologia para MMAD.....   | 45        |
| 3.2 Etapa 1: Definição dos metacritérios para a análise .....  | 49        |
| 3.3 Etapa 2: Estabelecimento do contrato entre os tomadores de decisão e o facilitador.....          | 50        |
| 3.4 Etapa 3: Definição objetiva do problema .....  | 53        |
| 3.5 Etapa 4: Seleção dos critérios considerados para a avaliação das alternativas.....               | 56        |
| <b>Capítulo 4 – MMAD, Abastecimento de Água e Exploração de Petróleo: Alternativas Analisadas ..</b> | <b>59</b> |
| 4.1 Etapa 6: Estudo das alternativas com base nos critérios definidos .....                          | 59        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.1.1 Alternativa 1: Implantação de sistema para dessalinização de água do mar na unidade marítima .....   | 59         |
| Critério: Disponibilidade quantitativa de água .....   | 59         |
| Critério: Disponibilidade qualitativa de água .....  | 60         |
| Critério: Custo da alternativa.....  | 61         |
| 4.1.2 Alternativa 2: Utilização da água produzida por ETA da empresa.....  | 67         |
| Critério: Disponibilidade quantitativa de água .....   | 67         |
| Critério: Disponibilidade qualitativa de água .....  | 73         |
| Critério: Custo da alternativa.....  | 80         |
| 4.1.3 Alternativa 3: Recebimento de água da companhia de saneamento da região.....   | 89         |
| Critério: Disponibilidade quantitativa de água .....   | 89         |
| Critério: Disponibilidade qualitativa de água .....  | 90         |
| Critério: Custo da alternativa.....  | 91         |
| 4.1.4 Alternativa 4: Captação e tratamento de água subterrânea .....   | 94         |
| Critério: Disponibilidade quantitativa de água .....   | 94         |
| Critério: Disponibilidade qualitativa de água .....  | 94         |
| Critério: Custo da alternativa.....  | 98         |
| 4.2 Etapa 7: Definição de pesos relativos para os critérios .....  | 102        |
| 4.3 Etapa 8: Avaliação das alternativas de acordo com os critérios .....   | 103        |
| 4.3.1 Alternativa 1: Implantação de sistema para dessalinização de água do mar na unidade marítima .....   | 104        |
| 4.3.2 Alternativa 2: Utilização da água produzida por ETA da empresa .....   | 105        |
| 4.3.3 Alternativa 3: Recebimento de água da companhia de saneamento atuante na região  | 106        |
| 4.3.4 Alternativa 4: Captação e tratamento de água subterrânea .....   | 107        |
| 4.4 Etapas 10 e 11: Aplicação do método de agregação, comparação das avaliações finais das alternativas e indicação das opções mais vantajosas ao tomador de decisão ..... | 108        |
| <b>Capítulo 4 – Considerações Finais .....</b>   | <b>117</b> |
| <b>Referências Bibliográficas .....</b>  | <b>120</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1 – Matriz de avaliação dos MMAD .....   | 21  |
| Figura 2 – Estrutura geral dos MMAD.....  | 22  |
| Figura 3 – Papel do facilitador nos MMAD .....  | 30  |
| Figura 4 – Hierarquia da AHP .....  | 34  |
| Figura 5 – Funções do facilitador no processo de tomada de decisão .....                      | 46  |
| Figura 6 – Consumo da água do rio por setor (Alternativa 2) .....                             | 71  |
| Figura 7 – Exemplo de estruturação gráfica (CDP) .....  | 110 |
| Figura 8 – Estruturação gráfica do problema estudado (CDP).....                               | 111 |
| Figura 9 – Classificação das alternativas (CDP) .....   | 112 |
| Figura 10 – Planilha com os cálculos realizados (CDP) .....                                   | 112 |
| Figura 11 – Contribuição dos critérios para a avaliação das alternativas (CDP) .....          | 113 |
| Figura 12 – Sensibilidade da análise quanto ao custo das alternativas (CDP) .....             | 114 |
| Figura 13 – Sensibilidade da análise quanto à disponibilidade qualitativa de água (CDP).....  | 114 |
| Figura 14 – Sensibilidade da análise quanto à disponibilidade quantitativa de água (CDP)..... | 115 |
| Figura 15 – Estruturação do “brainstorming” (CDP).....  | 126 |
| Figura 16 – Caminho no CDP para gerar hierarquia.....   | 126 |
| Figura 17 – Inserção do nome do trabalho (CDP).....   | 129 |
| Figura 18 – Inserção de comentário referente ao trabalho (CDP) .....                          | 127 |
| Figura 19 – Hierarquia gerada (CDP) .....   | 127 |
| Figura 20 – Seleção da técnica para a agregação (CDP).....                                    | 128 |
| Figura 21 – Seleção da meta da análise (CDP) .....  | 128 |
| Figura 22 – Caminho no CDP para a inserção dos dados numéricos.....                           | 129 |
| Figura 23 – Seleção do método para a comparação das alternativas (CDP) .....                  | 129 |
| Figura 24 – Escala para a inserção dos pesos dos critérios (CDP).....                         | 130 |
| Figura 25 – Inserção dos pesos dos critérios (CDP).....                                       | 131 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura 26 – Escala para a avaliação das alternativas ( <i>CDP</i> ) .....                                 | 131 |
| Figura 27 – Avaliação das alternativas quanto ao custo ( <i>CDP</i> ) .....                               | 132 |
| Figura 28 – Avaliação das alternativas quanto à disponibilidade qualitativa de água ( <i>CDP</i> ) .....  | 133 |
| Figura 29 – Avaliação das alternativas quanto à disponibilidade quantitativa de água ( <i>CDP</i> ) ..... | 134 |
| Figura 30 – Finalização da inserção dos dados numéricos ( <i>CDP</i> ) .....                              | 134 |
| Figura 31 – Caminho no <i>CDP</i> para a exibição gráfica do resultado .....                              | 135 |
| Figura 32 – Gráfico com o resultado no <i>CDP</i> e caminho para a exibição da planilha de dados.....     | 135 |
| Figura 33 – Planilha com os dados gerados ( <i>CDP</i> ) .....  | 135 |
| Figura 34 – Caminho no <i>CDP</i> para a realização da análise de sensibilidade .....                     | 136 |
| Figura 35 – Sensibilidade quanto ao custo da alternativa ( <i>CDP</i> ) .....                             | 136 |
| Figura 36 – Sensibilidade quanto à disponibilidade qualitativa de água ( <i>CDP</i> ) .....               | 137 |
| Figura 37 – Sensibilidade quanto à disponibilidade quantitativa de água ( <i>CDP</i> ) .....              | 137 |
| Figura 38 – Término da análise de sensibilidade ( <i>CDP</i> ) .....                                      | 138 |
| Figura 39 – Caminho no <i>CDP</i> para a exibição da contribuição dos critérios para cada alternativa...  | 138 |
| Figura 40 – Exibição da contribuição dos critérios para as avaliações ( <i>CDP</i> ) .....                | 139 |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Diferença na composição da salinidade da água de rios e da água do mar (Alternativa 1)                                 | 61 |
| Tabela 2 – Custos de produção de água dessalinizada de acordo com a fonte de energia (Alternativa 1).....                         | 66 |
| Tabela 3 – Estimativa do custo da utilização de dessalinizador (Alternativa 1).....   | 66 |
| Tabela 4 – Quantificação das captações de água superficial para abastecimento público na bacia hidrográfica (Alternativa 2) ..... | 68 |
| Tabela 5 – Quantificação das captações de água superficial para a criação de animais na bacia hidrográfica (Alternativa 2) .....  | 69 |
| Tabela 6 – Quantificação das captações de água superficial para consumo industrial na bacia hidrográfica (Alternativa 2).....     | 70 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 7 – Consumo da água do rio por setor (Alternativa 2).....  | 70  |
| Tabela 8 – Parâmetros considerados no IQA (Alternativa 2).....  | 74  |
| Tabela 9 – Classes de qualidade da água de acordo com o IQA aplicado (Alternativa 2) .....                            | 74  |
| Tabela 10 – Qualidade da água do rio e enquadramento de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 (Alternativa 2) ..... | 78  |
| Tabela 11 – Custo referente ao processo de renovação e manutenção da outorga (Alternativa 2).....                     | 81  |
| Tabela 12 – Custo com pessoal para a ECA e para a ETA (Alternativa 2) .....   | 82  |
| Tabela 13 – Custo de energia elétrica para o sistema de abastecimento de água (Alternativa 2).....                    | 84  |
| Tabela 14 – Parcelas de custo observadas em uma ETA (Alternativa 2) .....   | 84  |
| Tabela 15 – Custos para captação, transporte e tratamento da água (Alternativa 2) .....                               | 85  |
| Tabela 16 – Custo do transporte da água fornecida pela ETA da empresa (Alternativa 2).....                            | 87  |
| Tabela 17 – Custo total da utilização da água produzida na ETA da empresa (Alternativa 2) .....                       | 88  |
| Tabela 18 – Estrutura tarifária aplicada pela companhia de saneamento (Alternativa 3).....                            | 92  |
| Tabela 19 – Custo total da utilização da água da companhia de saneamento (Alternativa 3).....                         | 93  |
| Tabela 20 – Classes de qualidade da água subterrânea (Alternativa 4).....   | 97  |
| Tabela 21 – Classes de risco de contaminação dos aquíferos (Alternativa 4).....                                       | 97  |
| Tabela 22 – Custos com operação e manutenção do sistema de captação de água subterrânea (Alternativa 4).....          | 100 |
| Tabela 23 – Custo para o transporte da água dos poços de captação subterrânea à plataforma (Alternativa 4).....       | 101 |
| Tabela 24 – Custo total da utilização de água subterrânea (Alternativa 4) .....                                       | 101 |
| Tabela 25 – Pesos atribuídos aos critérios .....  | 102 |
| Tabela 26 – Avaliação da Alternativa 1 quanto aos critérios definidos .....   | 104 |
| Tabela 27 – Avaliação da Alternativa 2 quanto aos critérios definidos .....   | 105 |
| Tabela 28 – Avaliação da Alternativa 3 quanto aos critérios definidos .....   | 106 |
| Tabela 29 – Avaliação da Alternativa 4 quanto aos critérios definidos .....   | 107 |
| Tabela 30 – Matriz de avaliação das alternativas de acordo com os critérios .....                                     | 108 |
| Tabela 31 – Avaliação das alternativas de acordo com os critérios únicos de síntese .....                             | 109 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 – Vantagens e limitações dos MMAD.....   | 44 |
| Quadro 2 – Tarefas envolvidas na administração e na gestão de reuniões.....                                   | 47 |
| Quadro 3 – Apresentação da Etapa 3: Definição objetiva do problema.....                                       | 55 |
| Quadro 4 – Apresentação da Etapa 4: Seleção dos critérios considerados para a avaliação das alternativas..... | 56 |
| Quadro 5 – Apresentação da Etapa 6: Geração de possíveis alternativas para a solução do problema              | 57 |
| Quadro 6 – Itens de custo de sistemas de dessalinização (Alternativa 1).....                                  | 64 |
| Quadro 7 – Classes de rios de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 (Alternativa 2) .....                   | 75 |
| Quadro 8 – Itens de custo para a implantação de poços de água subterrânea (Alternativa 4).....                | 99 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Equação 1 - Soma ponderada .....            | 32 |
| Equação 2 - Produto ponderado.....          | 32 |
| Equação 3 - Soma ponderada modificada ..... | 33 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

BIRD – Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento

CCME – *Canadian Council of Ministers of the Environment*

CDP – *Criterion Decision Plus*

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

Células.mL<sup>-1</sup> – Células por mililitro

ETA – Estação de Tratamento de Água

ECA – Estação de Captação de Água

IQA – Índice de Qualidade da Água

*IMDA – Implicit Multicriteria Decision Analysis*

*MACBETH – Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*

MF – Microfiltração

Mg.L<sup>-1</sup> – Miligrama por litro

MMAD – Métodos Multicritérios de Análise de Decisão

NMP.100 mL<sup>-1</sup> – Número Mais Provável por 100 mililitros

*NSF – National Sanitation Foundation*

*NTU – Nefelometric Turbidity Unit*

OI – Osmose Inversa

PVC – Policloreto de polivinila

Pt.cm<sup>-1</sup> – Platina por litro

SEA – Secretaria Estadual do Ambiente

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

UF – Ultrafiltração

µs.cm<sup>-1</sup> – Microsiemens por centímetro

µg.L<sup>-1</sup> – Microgramas por litro

°C – Graus Celsius

*εNSGAI - Epsilon-Dominance Non-Dominated Sorted Genetic Algorithm II*

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A – Modelagem do problema no *CDP*

## Capítulo 1 – Introdução

O petróleo possui participação significativa na matriz energética mundial. Para se ter uma idéia, no Brasil, essa fonte representou 41,6% da produção de energia e 44,6% do seu consumo total em 2012 (BRASIL, 2013). Desde 1980, observou-se, no país, a redução da dependência externa em relação a esse recurso. No entanto, os últimos anos têm sido marcados pelo aumento da necessidade de aquisição de petróleo no mercado internacional. Por isso, com a descoberta de novas jazidas, as atividades de produção de óleo e gás, assim como aquelas que as sustentam, assumem uma importância cada vez maior.

O presente trabalho trata especificamente do fornecimento de água ao setor de petróleo, atividade considerada fundamental para a manutenção da produção. A demanda desse insumo na exploração de campos de petróleo é elevada, pois, à medida em que eles amadurecem, a pressão dos reservatórios diminui, e a injeção de água facilita a saída do óleo e do gás. Outros usos do recurso incluem a refrigeração de bombas, a utilização nos sistemas de climatização, a higienização das instalações e equipamentos e a satisfação das necessidades básicas dos trabalhadores.

O último aspecto mencionado é particularmente relevante no caso de unidades marítimas de produção, responsáveis por 91% da produção nacional de óleo em 2012 (BRASIL, 2013). Essas instalações podem localizar-se a distâncias significativas da costa e quanto maior a sua capacidade produtiva, maior será a população que permanecerá embarcada para a sua operação. Essas pessoas consomem água por meio da ingestão, da higiene pessoal e dos serviços de alimentação e higienização de roupas. Dessa forma, a seleção da estratégia de fornecimento de água às plataformas deve ser criteriosa, uma vez que o atraso da entrada em operação, ou pior, a paralisação de uma unidade, situações que podem ocorrer devido à falta desse recurso, possuem um custo estimado de centenas de milhares de dólares por dia (COVOS, 2005).

No presente trabalho, avaliam-se estratégias de abastecimento de água para o suprimento de uma unidade marítima hipotética de produção de petróleo. Consideraram-se as seguintes opções: 1) implantação de sistema para dessalinização de água do mar na unidade marítima; 2) utilização de água tratada gerada na empresa produtora; 3) recebimento de água da companhia de saneamento atuante na região; e 4) captação e tratamento de água subterrânea. Optou-se pela utilização de Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) devido à vantagem dessas técnicas no que se refere à compreensão e à estruturação dos problemas avaliados. Esses métodos, desenvolvidos nas décadas de 70 e 80, continuam a ser empregados devido a sua habilidade na solução de questões

marcadas por múltiplos objetivos. Os MMAD já foram largamente utilizados em questões relativas a recursos hídricos (VILAS BOAS, 2006; KOLLAT e REED, 2006; HAJKOWICZ e COLLINS, 2007; JOERIN *et al.*, 2010), que normalmente possuem essa característica, apesar de não ser sido encontrada publicação com o enfoque desta dissertação.

Para a análise definiram-se como critérios a disponibilidade quantitativa de água, a disponibilidade qualitativa de água e o custo de implantação e operação das alternativas em um horizonte de cinco anos, que foi considerado suficiente para a minimização de possíveis anomalias operacionais<sup>1</sup>. A aplicação de MMAD possibilitou a análise da contribuição de cada critério para a avaliação final das opções.

Destacaram-se, no caso estudado, a complexidade e os altos custos envolvidos na utilização da infraestrutura necessária ao fornecimento de insumos às plataformas marítimas. Três das quatro alternativas consideradas incluem o transporte de água produzida na costa até a unidade, etapa que é operacionalizada por meio de pequenas embarcações. A impossibilidade de atracação devido à ocupação de todos os berços dos píeres<sup>2</sup> ou a sua ocupação prolongada devido ao atraso no fornecimento de água, por exemplo, elevam significativamente o custo dessas estratégias, que precisam ser muito bem planejadas. Por outro lado, para a implantação de dessalinizador de água na unidade, única opção que não envolve o transporte marítimo do recurso, é necessária a utilização de espaço na plataforma, o qual possui elevado custo de oportunidade devido à concorrência com os equipamentos do processo produtivo e com as instalações necessárias à permanência dos trabalhadores no local.

Para a avaliação do problema, abordou-se, no segundo capítulo da dissertação, a moldura conceitual e o estado das artes da aplicação dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão, o que foi fundamental para a proposição da metodologia utilizada. No terceiro capítulo foram apresentados o método sugerido e o desenvolvimento das suas etapas para o caso considerado, o que ilustrou a sua aplicação. Para a pontuação das alternativas quanto aos critérios baseou-se, principalmente, em pesquisa bibliográfica. Para a agregação das avaliações, a fim de que fossem obtidas pontuações globais para cada alternativa, para que elas pudessem ser comparadas, foram utilizadas as equações sugeridas por Soares (2004) e aplicado o programa *Criterion Decision Plus (CDP)*, baseado no *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, métodos abordados no segundo capítulo. O emprego de mais de

---

<sup>1</sup> A estimativa dos custos para um horizonte temporal de 20 anos, apesar de ter apresentado valores maiores, forneceu o mesmo resultado para a comparação das opções quanto a esse critério.

<sup>2</sup> Píer é uma passarela sobre a água suportada por estacas ou pilares, a qual é utilizada para atracação e desatracação de embarcações.

uma forma de agregação permitiu a análise da sensibilidade do resultado quanto a esse parâmetro para o estudo realizado. No quinto capítulo são apresentadas as principais conclusões do trabalho, considerações quanto à aplicabilidade do seu resultado e sugestões para a elaboração de outras pesquisas.

## Capítulo 2 – Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD): Estado das Artes

### *2.1 Processos de tomada de decisão*

Uma das principais funções dos gestores é a avaliação de situações para a condução de processos de tomada de decisão. Como as decisões têm influência direta na competitividade das empresas, os gerentes e executivos devem possuir o conhecimento necessário para a solução dos problemas com os quais possam se deparar. Os eventos frequentemente envolvem múltiplos aspectos (técnicos, econômico-sociais, ambientais, entre outros), que precisam ser avaliados. Além disso, como muitas vezes há mais de um tomador de decisão ou o decisor considera os posicionamentos dos principais envolvidos, normalmente ocorre a negociação entre as partes para que a decisão seja tomada. Tendo em vista a complexidade do assunto foram desenvolvidas algumas técnicas para estruturar o processo e aumentar a confiabilidade da escolha.

#### Análise Custo Benefício (ACB)

A Análise Custo Benefício é definida por Pereira (1999) como a quantificação monetária dos custos e dos benefícios de uma ação, que, descontados no tempo, têm os seus valores presentes comparados. A técnica baseia-se nos pressupostos da economia neoclássica e já foi largamente empregada por economistas. Além disso, Hanley e Spash (1993) defendem a utilização da ACB como um guia para a eficiência no uso dos recursos naturais.

Nogueira, Medeiros e Arruda (1998) estabeleceram cinco estágios para a aplicação do método: 1) definição do projeto; 2) identificação dos impactos; 3) identificação dos impactos economicamente relevantes; 4) quantificação física dos impactos relevantes; e 5) valoração monetária dos efeitos relevantes em uma mesma unidade de medida.

Recomenda-se que os parâmetros e critérios utilizados sejam definidos de forma conservadora. Como as estimativas e projeções envolvem incerteza, a adoção de parâmetros pessimistas transmitirá maior segurança aos tomadores de decisão, que se sentirão mais confortáveis em adotar a opção recomendada.

Dessa forma, é estabelecido um fluxo com os custos e benefícios das ações. O instante  $T_0$  caracteriza-se pela primeira unidade de benefício e, a partir de então, inicia-se a contagem do



horizonte de estudo. Geralmente ocorrem custos anteriormente a  $T_0$  para a estruturação da iniciativa, e esses valores são atualizados e contabilizados em  $T_0$ .

Como as unidades de custo e de benefício ocorrem em instantes diferentes os valores precisam ser atualizados ou descontados no tempo para que as alternativas possam ser comparadas. Para tanto, utiliza-se a taxa de desconto. Isso ocorre porque o ser humano não gosta de esperar para utilizar os recursos de que dispõe, e só agirá dessa forma se essa atitude resultar em mais recursos. Assim sendo, os valores esperados para o futuro são descontados, o que limita o horizonte temporal considerado nas análises por questões práticas e de significância.

Uma das maiores controvérsias em relação à ACB refere-se à decisão de se aplicar ou não a taxa de desconto, e, nos casos onde há a aplicação, à definição do valor utilizado. Para Mueller (2004), a questão é ética. O autor explica que a utilização da taxa de desconto, mesmo quando o seu valor for reduzido, privilegia a geração presente, o que contraria o princípio da solidariedade intergeracional.

Por outro lado, a preservação dos recursos para o futuro possui incerteza. Quanto maior o horizonte temporal considerado, maiores os riscos. O desenvolvimento tecnológico da produção é difícil de prever, e não se sabe se os bens e serviços ambientais continuarão proporcionando o mesmo nível de bem-estar que proporcionariam hoje. Além disso, populações que ainda não atingiram um nível mínimo de bem-estar normalmente priorizam a satisfação das suas necessidades atuais. Assim sendo, projetos cujos benefícios tornam-se aparentes a longo prazo são beneficiados com a aplicação de taxas reduzidas, enquanto projetos que geram benefícios a curto prazo beneficiam-se com a opção por taxas elevadas.

Bowles, Anderson e Glover (1997), ao avaliar a utilização da ACB, explicam que investimentos são justificados pela relação custo/benefício ou pela taxa de retorno. Contudo, projetos relacionados à saúde ou à segurança pública raramente são bem avaliados, pois a probabilidade de riscos é frequentemente reduzida, e os investimentos, elevados. Dessa forma, Khadam e Kaluarachchi (2003) argumentam que a relação custo/benefício pode ser aumentada acrescentando-se um valor estatístico para salvar a vida humana ou o valor de um efeito adverso à saúde evitado na soma dos benefícios.

Outra limitação da ACB é que nem todos os benefícios podem ser quantificados em termos monetários. No entanto, fatores quantitativos não podem dominar fatores qualitativos, que muitas vezes são relevantes. Desse modo os aspectos intangíveis devem ser explicitados para que sejam considerados pelos tomadores de decisão.

Destaca-se que a utilização da técnica é complexa. Há demanda de pessoal capacitado, de grande quantidade de dados e de tempo para a sua aplicação. A escolha dos parâmetros, muitas vezes, envolve elevado grau de incerteza. Por isso, se os responsáveis pela avaliação dos estudos não forem tão capacitados quanto os técnicos que o elaborarem a ACB poderá ser utilizada com fins justificacionistas.

Além disso, apesar de ter orientado tomadas de decisão guiadas pela racionalidade, o método apresenta falhas significativas. A ACB baseia-se nos pressupostos da economia neoclássica, que emprega modelos matemáticos bem estruturados, mas nem sempre representativos da realidade. Um dos problemas é que a técnica considera um só critério de escolha, enquanto problemas reais envolvem múltiplos aspectos. Para Renn (1986), o método funciona apenas quando a decisão é tomada por indivíduos ou grupos homogêneos, pois não é fornecida uma base racional para a tomada de decisão onde conflitos entre grupos têm que ser resolvidos. Quando critérios e valores distintos estão presentes, faltam meios para sintetizar os princípios ou agregar os pesos entre os grupos.

#### Análise Custo Efetividade (ACE)

Quando há dificuldades na atribuição de valores monetários para os benefícios, pode-se utilizar a Análise Custo Efetividade (ACE) (HEINZERLING e ACKERMAN, 2002; PEARCE, ATINKSON e MOURATO, 2006; WILLAN e BRIGGS, 2006). Para a aplicação da técnica são estimados os custos necessários para que um objetivo pré-determinado seja alcançado. Assim, o benefício é maximizado quanto se atinge a meta definida a um custo mínimo.

No entanto, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos ampliou as opções de uso da ferramenta. Para a instituição, a ACE é apropriada principalmente quando se deseja comparar opções alternativas de programas que têm o mesmo objetivo ambiental, com a finalidade de definir qual deles terá a melhor performance em comparação com os recursos gastos. Pode-se também avaliar um determinado programa quanto a sua capacidade de atingir um esperado padrão ambiental, dado um montante fixo de gastos (EPA, 1993).

Para Pereira (1999), a Análise Custo Benefício (ACB) tem seu arcabouço esmiuçado mesmo quando não é o foco principal da discussão. Isso, todavia, não acontece com a ACE, que é tratada apenas marginalmente na literatura. Esse lapso é preenchido pela EPA (1993), que estabelece passos para a análise. De acordo com a metodologia, ao selecionar as metas e objetivos de um programa, o gestor já delinea o nível de efetividade esperada, que é comparado com o padrão ideal. Em seguida,

escolhem-se as opções de ação que mais se aproximam do padrão para que elas possam ser comparadas em termos de custo/efetividade.

Há maior facilidade na aplicação da ACE em comparação com a ACB. No entanto, se o objetivo pré-estabelecido não for adequado, a eficiência econômica não será atingida. Além disso, a determinação de índices de custo/efetividade (unidade em comum para a comparação das opções) nem sempre é uma tarefa simples.

### Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD)

Em uma sociedade pluralista critérios técnicos e econômicos não são suficientes para a formulação e implementação de políticas. Potenciais conflitos devem ser previstos de forma antecipada, e os prós e contras das alternativas em relação a grupos relevantes devem ser reconhecidos e avaliados. Destaca-se que os problemas discutidos são válidos mesmo para decisões tomadas em empresas, uma vez que as organizações podem ser vistas como sociedades menores, onde, muitas vezes, realiza-se a negociação e aplicam-se estratégias de compensação.

Pelo exposto, em muitos casos a melhor opção parece ser a renúncia do ótimo absoluto, buscado pela Análise Custo Benefício e pela Análise Custo Efetividade, a fim de que possa ser alcançado um ótimo possível que tenha o objetivo de reconciliar objetivos conflitantes (SOARES, 2004). Com essa finalidade desenvolveram-se os Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD)<sup>3</sup>. As estruturas propostas levam em consideração os axiomas básicos da teoria de decisão, que esclarecem que o planejamento do processo envolve sete etapas distintas (GARDINER e EDWARDS, 1975; KEENEY e RAIFFA, 1976):

- Compromisso e especificação dos objetivos e metas em consonância com os valores da sociedade;
- Escolha de critérios apropriados para classificação das conseqüências de cada alternativa e para a definição dos valores a serem atendidos ou dos valores a não serem ultrapassados para cada meta especificada;
- Transformação dos critérios em indicadores mensuráveis para a avaliação objetiva das conseqüências das alternativas;
- Identificação de alternativas tecnicamente viáveis;

---

<sup>3</sup> *Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA)*.

- Avaliação das consequências de cada opção de acordo a lista de indicadores pré-formulada, que deve avaliar a extensão e a probabilidade das falhas;
- Atribuição de pesos relativos a cada indicador;
- Seleção de um modelo de agregação para combinar as avaliações das probabilidades e pesos.

Diante do exposto, destaca-se que tomadores de decisão em todos os níveis nas organizações podem se beneficiar dos MMAD para resolver problemas complexos, pois a técnica é uma ferramenta vital para a elaboração de estratégias corporativas necessárias em condições de concorrência efetiva (SAATY, 1990). Tendo em vista a sua importância para a tomada de decisões, as seções seguintes abordarão: 1) os princípios dos MMAD; 2) algumas metodologias propostas para a aplicação dessas técnicas; 3) os principais métodos de agregação utilizados para a comparação das alternativas; e 4) as vantagens e limitações dos MMAD.

## *2.2 Referencial teórico dos Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD)*

Os MMAD podem ser definidos como procedimentos que utilizam um conjunto de ferramentas para a síntese da informação (JOERIN *et al.*, 2010). São apresentados, a seguir, os passos propostos por diferentes autores para a realização de uma análise com o objetivo de solucionar um problema identificado, e, então, é discutida, de forma breve, a operacionalização das etapas sugeridas.

Para Hajkowicz e Collins (2007), a análise deve conter: 1) um conjunto de opções de decisões que precisam ser classificadas ou pontuadas pelo tomador de decisão; 2) um conjunto de critérios, tipicamente mensurados em diferentes unidades; e 3) um conjunto de indicadores de desempenho, que apontam a classificação de cada opção de decisão de acordo com cada critério. A proposta converge com o modelo de Wirtz *et al.* (2007). Para esses pesquisadores, três etapas são requeridas: 1) a determinação dos critérios; 2) o estabelecimento de uma matriz de desempenho para os critérios de pontuação; e 3) a normalização e a ponderação para agregar todos os critérios. Poulin *et al.* (2013) propõem procedimentos semelhantes aos anteriores, que contemplam ainda o desenvolvimento de escalas de avaliação que definem as condições que precisam ser atendidas para que uma alternativa satisfaça cada critério. Dessa forma, observou-se que, apesar das pequenas

variações constatadas, há um consenso na literatura quanto aos passos requeridos para a aplicação dos MMAD.

Vilas Boas (2006), ao escrever sobre esses métodos, explica que as abordagens são formas de modelar os processos de decisão que englobam uma decisão a ser tomada, os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados, os possíveis cursos de ação e os próprios resultados. A autora explica que o procedimento é composto por duas etapas: estruturação e avaliação (GARTNER, 2001 em VILAS BOAS, 2006). Na estruturação determinam-se as alternativas e os critérios de avaliação. Na avaliação é estabelecida uma matriz na qual as alternativas ( $a_1...a_i...a_n$ ) são avaliadas de acordo com o critérios ( $g_1...g_i...g_n$ ), conforme ilustrado na Figura 1. Assim, para cada objetivo é determinada uma meta e busca-se a minimização dos desvios identificados nas variáveis, que funcionam como indicadores do alcance das metas.

Após a obtenção e organização dos dados, caso haja mais de um tomador de decisão, haverá negociação para a construção de um consenso (SOARES, 2004). De acordo com Prato (2003), essa é uma das fases mais críticas da análise. Ressalta-se que participação e debate são necessários tanto em nível individual como entre os grupos envolvidos, uma vez que o conhecimento e a experiência individuais são inadequados em tomadas de decisão que afetam o bem-estar e a qualidade de vida de um grupo (SAATY, 1990), o que torna o processo de negociação ainda mais complexo.

|            | $g_1 \dots$      | $g_2 \dots$      | $g_n \dots$      |
|------------|------------------|------------------|------------------|
| $a_1$<br>⋮ | $g_1(a_1) \dots$ | $g_2(a_1) \dots$ | $g_n(a_1) \dots$ |
| $a_i$<br>⋮ | $g_1(a_i) \dots$ | $g_2(a_i) \dots$ | $g_n(a_i) \dots$ |
| $a_n$<br>⋮ | $g_1(a_n) \dots$ | $g_2(a_n) \dots$ | $g_n(a_n) \dots$ |

Figura 1 – Matriz de avaliação dos MMAD

Fonte: Gartner (2001) em Vilas Boas (2006)

Caso o estabelecimento de um consenso não seja possível, parte-se para a próxima etapa, que consiste no tratamento matemático para a determinação da melhor opção. A fim de que as alternativas possam ser comparadas e a decisão possa ser tomada, vários métodos podem ser empregados na agregação das avaliações de acordo com cada critério. Destacam-se os métodos de

critério único de síntese, os métodos *outranking* e os métodos iterativos, explicados na Seção 2.4. A Figura 2 apresenta o esquema geral dos MMAD.

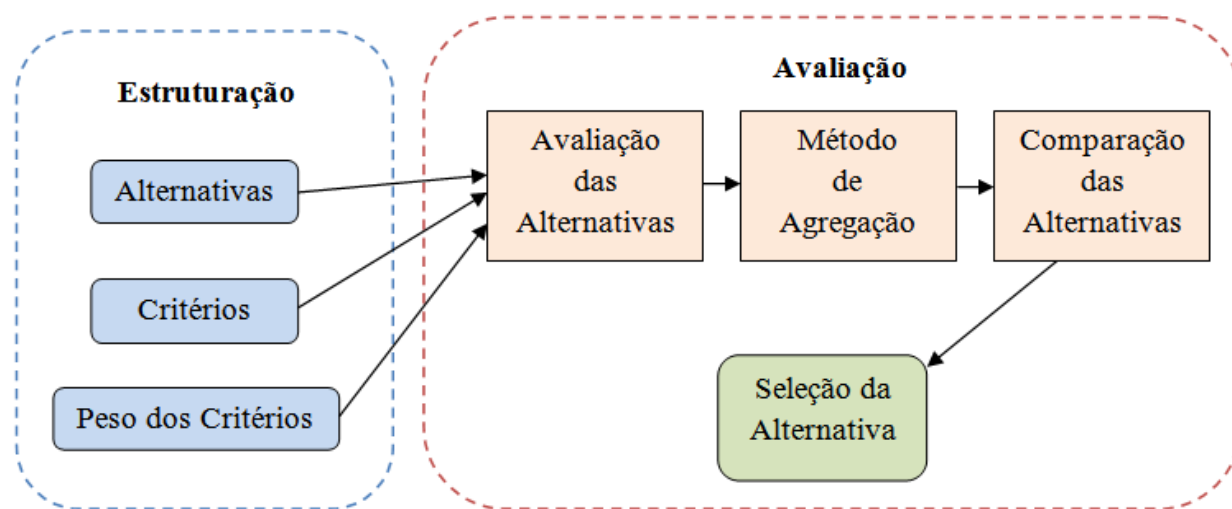


Figura 2 – Estrutura geral dos MMAD

Convém ressaltar que a disposição a aceitar ou a aversão a riscos do decisor (ou decisores) deve ser incorporada ao modelo (KRYM, ALENCAR e ALMEIDA, 2012). Assim, os MMAD buscam refletir as preferências das pessoas com poder de decisão, mesmo que essas preferências não possuam a consistência desejada. Dessa forma, Soares (2004) ressalta que o resultado da análise depende das opções selecionadas, da qualidade dos dados, da seleção e da forma de utilização dos critérios, do procedimento para a agregação empregado e da atuação dos envolvidos no processo. Outro ponto destacado pelo autor é que os MMAD são geralmente empregados em situações onde há mais de uma solução disponível para a solução do problema, e que os métodos não têm como objetivo eleger uma solução específica como a mais adequada, mas apontar aos decisores um conjunto que contenha as alternativas mais vantajosas de acordo com os aspectos considerados. Destaca-se ainda que a aplicação dos MMAD não garante que o gestor escolherá a melhor opção, mas proporciona as ferramentas que ele necessita para tomar uma decisão efetiva e defensável (BELTON e STEWART, 2002).

## *2.3 Metodologias propostas para os MMAD*

### *Metodologia proposta por Renn (1986)*

Ao aplicar MMAD no debate energético na Alemanha, Renn (1986) propôs os seguintes passos: 1) definição e identificação das metas e necessidades; 2) seleção dos critérios; 3) transformação dos critérios em indicadores; 4) geração das opções; 5) avaliação das consequências de acordo com as listas de indicadores; 6) atribuição de pesos relativos; e 7) agregação das avaliações ponderadas. Os sete passos propostos serão detalhados a seguir.

#### *1) Definição e identificação das metas e necessidades*

Para o autor, a decisão deve estar de acordo com alguns princípios pré-estabelecidos, aos quais denomina metacritérios. Ele defende que qualquer opção que não atenda a algum deles deve ser excluída. Em seu trabalho ele explica que em uma sociedade pluralista o governo pode não ser capaz de especificar metas universais, nem todos os grupos da sociedade possuem necessariamente o mesmo direito de fazer com que as suas próprias definições a respeito do que a sociedade almeja se sobressaiam. Para contornar esse problema, qualquer sistema político – mesmo a sociedade mais democrática – deve basear as suas decisões em alguns metacritérios. O autor elege três metacritérios: as necessidades físicas da população devem ser atendidas; os direitos civis não podem ser violados e a mudança social não deve ser impedida ou dificultada. Essas diretrizes foram traduzidas em especificações mais concretas para o caso estudado por Renn (1986). O autor explica que elas devem ser respeitadas mesmo que algum grupo da sociedade não esteja de acordo e que qualquer opção que não atenda a alguma delas deve ser excluída.

#### *2) Seleção dos critérios*

No trabalho do autor a escolha de critérios adequados para traduzir os metacritérios em termos mais concretos foi realizada de forma distinta da usual, que consiste em questionar o tomador de decisão sobre o que importa a ele. Rejeitou-se esse procedimento porque, em primeiro lugar, os tomadores de decisão podem estar envolvidos diretamente no problema, e, em segundo lugar, relevantes grupos na sociedade demandam que seus valores e interesses sejam considerados. O problema, então, consistiu em selecionar critérios que fossem ao mesmo tempo aprovados por um

grupo heterogêneo de tomadores de decisão e aceitos pelos principais grupos de interesse da sociedade. Renn (1986) explica que poderia ser utilizada a intuição, a análise de documentos, um *brainstorming*<sup>4</sup> com especialistas ou entrevistas com o público, mas esses métodos não garantem que os objetivos sejam atendidos. Por isso, o autor propôs a Análise da Árvore de Valor.

A Análise da Árvore de Valor é uma técnica integrada, interativa e iterativa. Representantes de grupos sociais são entrevistados para expressarem os seus valores e preocupações sobre o tema em análise. Os valores, estados desejados, intenções ou orientações preferenciais com relação a possíveis opções de decisão são organizados em uma Árvore de Valor que representa a hierarquia de valores do grupo em particular. Cada grupo deve aprovar a sua Árvore de Valor. Os valores gerais e preocupações são representados no topo da árvore, e os critérios específicos e dimensões de valor na base. No caso apresentado, muitos grupos possuíam um entendimento comum dos objetivos básicos, mas diferiam em suas principais áreas de preocupação. Por isso, as árvores desses grupos possuíam uma superestrutura semelhante, com diferentes focos no grau de refinamento de ramos particulares. O objetivo principal do método é a construção de uma Árvore de Valor Combinada para todos os grupos, que pode ser entendida como a representação das principais preocupações em uma sociedade pluralista, sem focar nas diferenças de peso e na importância de cada item. Convém ressaltar, contudo, que a Árvore Combinada representa mais que uma lista das preocupações mencionadas nas entrevistas de grupo. Ela consiste em uma tentativa de estruturar valores e critérios, até mesmo os conflitantes, em um sistema logicamente consistente, aceitável e que pretende ser o primeiro passo para a formação de um consenso (KENNEY *et al.*, 1984 em RENN, 1986).

Assim, os valores gerais das Árvores Individuais foram agrupados e contrastados para a determinação dos valores gerais da Árvore de Valor Combinada. Todos os outros itens foram listados de acordo com o nível hierárquico da aparência. Então o conjunto foi classificado e agrupado em torno do respectivo conteúdo lexical dos valores principais. A Árvore Combinada continha as preocupações e critérios de avaliação de todos os grupos, e teve que ser aprovada por todos eles. No trabalho não houve grande dificuldade na aprovação pois os participantes foram avisados de que poderia ser atribuído o peso zero a cada item, fazendo com que ele desaparecesse. Como cada grupo se viu representado, pôde ser alcançado um acordo.

Por meio da Árvore de Valor Combinada a segunda condição - aprovação social - foi satisfeita pela própria definição do método. Os decisores políticos, pelo menos em teoria, também

---

<sup>4</sup> Brainstorming é uma técnica de grupo que incentiva a criatividade, com a exposição de todas as idéias que surgirem, sem críticas ou julgamentos. A avaliação das opções é realizada posteriormente.



deveriam estar satisfeitos com o resultado, uma vez que uma lista de critérios que combina todas as preocupações dos grupos relevantes é o melhor meio de garantir o apoio público. A única crítica por parte deles foi em relação à grande quantidade de critérios propostos para consideração. Mesmo assim, a lista foi predominantemente aceita como uma ferramenta útil, e a segunda condição também foi satisfeita.

### *3) Transformação dos critérios em indicadores*

O próximo passo consistiu na transformação da Árvore de Valor em um sistema operacional com dimensões e indicadores. Idealmente, esta tarefa deve ser realizada pelos grupos que desenvolveram as árvores, de forma com que eles sejam mais precisos quanto aos termos usados na etapa anterior. Para a operacionalização da medição, sempre que possível, os indicadores, instruções de medição e escalas devem ser derivados até os níveis mais baixos da Árvore Combinada. Os outros indicadores podem ser desenvolvidos intuitivamente. No trabalho de Renn (1986), todos os indicadores foram aprovados por especialistas quanto ao seu grau de representatividade. Devido à complexidade da informação técnica e ao grau de incerteza, foram aplicadas diferentes escalas para a medição: dimensionamento quantitativo, classificação ordinal e categorias nominais (para as questões mais controversas). A fim de agregar as classificações, os resultados foram padronizados em um sistema de classificação com quatro níveis qualitativos, que variavam de muito fraco a muito forte. Optou-se por não atribuir pesos aos critérios e por não agregar os indicadores nessa fase, para que as vantagens e desvantagens de cada opção pudessem ser avaliadas.

### *4) Geração das opções*

Essa etapa foi realizada após a determinação dos critérios por dois motivos: 1) as opções, quando determinadas preliminarmente, geram associações positivas e negativas que influenciam os especialistas na seleção dos critérios e indicadores; e 2) o conjunto de indicadores e critérios é uma excelente ferramenta para a busca por novas alternativas, e se os participantes souberem de antemão os critérios que as alternativas devem atender, a sua imaginação para opções totalmente novas pode ser incentivada e novas soluções podem ser previstas (PREBLE, 1983). Para a geração de opções podem ser construídos novos cenários ou utilizados cenários pré-existentes.

### 5) Avaliação das conseqüências de acordo com as listas de indicadores

No estudo de Renn (1986), a falta de consenso entre os cientistas impossibilitou a busca por medidas físicas para todos os indicadores na literatura. Para superar esse problema, selecionou-se um grupo de especialistas para a aplicação do método *Delphi*<sup>5</sup>. Agregaram-se profissionais com diferentes formações (engenheiros, cientistas naturais, economistas e cientistas sociais) e com atitudes distintas quanto aos cenários visualizados. O procedimento consistiu em consultar os especialistas em rodadas iterativas, com o fornecimento dos comentários e respostas do grupo. Na primeira rodada realizaram-se votos individuais. Na segunda e terceira rodadas subgrupos de cerca de quatro participantes precisaram estabelecer um consenso. O resultado de cada rodada foi confrontado com o resultado da rodada anterior, eliminando-se a maioria das discrepâncias. Como a avaliação foi realizada para situações futuras, os participantes basearam-se em seu julgamento intuitivo e subjetivo, o que conduziu a um elevado grau de incerteza. Mesmo assim, de uma forma geral, a procedimento mostrou-se suficiente. Poulin *et al.* (2013) também utilizaram a metodologia *Delphi* em seu trabalho. De acordo com os pesquisadores, as respostas utilizadas para o início da discussão, obtidas através de entrevistas individuais com os especialistas, foram apresentadas ao grupo sem a identificação dos participantes, o que permitiu que cada membro expressasse o seu ponto de vista de forma igual e imparcial. Os autores destacam que o procedimento evitou a dominância de membros com maior potência vocal, o que consiste em uma falha usual em dinâmicas de grupo realizadas para a obtenção de consensos.

### 6) Atribuição de pesos relativos

Assim como na seleção de critérios e indicadores, a idéia de que possa haver um consenso na sociedade a respeito da importância de cada critério não é realista. Não há metodologia legítima para determinar os pesos dos critérios, mas Renn (1986) enumera algumas técnicas: negociação direta entre os tomadores de decisão; seleção de representantes que não participam do processo de tomada de decisão e utilização dos valores médios atribuídos por eles; utilização de diferentes modelos de votação; determinação dos pesos por grupos relevantes da sociedade e apresentação dos valores ao tomador de decisão; e definição do valor médio atribuído por uma amostra representativa

---

<sup>5</sup> O método Delphi é um procedimento iterativo e integrador utilizado no estabelecimento de um consenso sobre a previsão de situações ou eventos futuros (WINTERFELDT e FISCHER, 1975 em RENN, 1986).

da sociedade. Para o autor, a solução mais apropriada parece ser a determinação de pesos entre vários grupos da população e a apresentação dos valores ao tomador de decisão. No estudo, aplicaram-se entrevistas aos cidadãos e os resultados foram tratados como uma informação adicional a ser apresentada ao decisor, a fim de que ele tivesse uma idéia real de como a população entende os *trade offs*<sup>6</sup> entre os critérios. A democracia direta foi rejeitada pelas seguintes razões:

- O público não assume a responsabilidade por seus julgamentos. Apesar de ter que conviver com suas próprias decisões, e, portanto, provavelmente estar interessado em uma abordagem racional, não há maneira de responsabilizar a população caso a decisão falhe, ou seja, não podem ser aplicadas sanções para o resultado da participação pública;
- Frequentemente a população não possui informação suficiente para a adequada avaliação das conseqüências de diferentes opções, o que pode resultar em uma atribuição tendenciosa de pesos;
- O processo político de tomada de decisão é iterativo e cumulativo, e entrevistas aplicadas à população são pontuais e singulares;
- A determinação dos pesos através da média dos valores atribuídos pela população conduz a respostas estratégicas das pessoas entrevistadas e a uma avaliação incorreta dos *trade offs*. O autor ressalta, contudo, que se o público fizer a sua escolha entre alternativas pré-selecionadas, respostas estratégicas não são possíveis. A estratégia ocorre quando a resposta pode variar entre vários graus de aprovação ou desaprovação. Destaca ainda que na prática grupos têm conseguido relacionar simples questões de escolha com outros assuntos simbólicos ou políticos.

Algumas das desvantagens das entrevistas foram superadas por Renn (1986) por meio da aplicação do método de planejamento celular, onde cada célula foi formada por um grupo de cerca de 25 cidadãos selecionados aleatoriamente e que receberam sua renda diária por um período limitado de tempo para pensarem em soluções para o problema por meio do trabalho em grupo. Por terem sido selecionadas de forma aleatória, essas pessoas não são individualmente preocupadas com o problema, e para encorajá-las a participar atribuiu-se a elas o papel de consultor do processo público de planejamento. O curto período de participação teve o objetivo de prevenir que o cidadão seja alienado de seu papel social. Operacionalmente, a tarefa dos consultores foi a atribuição de

---

<sup>6</sup> *Trade off* é uma expressão que define uma situação em que há conflito de escolha. Para que possamos usufruir de um benefício precisamos renunciar a outro.

pesos relativos a cada critério, a classificação de cada cenário de acordo com os critérios principais e a recomendação de uma alternativa.

O último passo proposto por Renn (1986) consiste na agregação das avaliações ponderadas. A etapa será discutida na *Seção 2.4*, a fim de que a visão do autor seja comparada com a visão de outros pesquisadores.

### *Sugestões de Belton e Stewart (2002)*

Os pesquisadores Belton e Stewart (2002) fazem considerações que podem ser incorporadas às metodologias apresentadas nessa seção, de forma a melhorá-las. Eles sugerem, por exemplo, que caso seja requerido um facilitador, seja formalizado um contrato entre ele e os decisores antes da realização da análise, pois isso os ajudará a determinar com transparência se a relação será benéfica a ambos. Para isso, é importante que o cliente, que é o tomador de decisão, entenda o que está envolvido no processo, assim como a natureza das suas saídas. Isso ocorre porque os MMAD consistem em ferramentas que aumentam a habilidade dos gestores em tomar decisões, mas não diminuem a importância do seu julgamento nem o eximem da sua responsabilidade.

No acordo, devem ser considerados os seguintes pontos: quem são as pessoas envolvidas; o tempo que será requerido delas; a natureza do seu envolvimento; a frequência, duração e o local dos encontros; assim como os objetivos dessas reuniões. O cliente deve estar ciente de que a intervenção pode ocorrer de forma distinta da intenção original, e, nesses casos, o facilitador tem o dever de procurá-lo para negociar as mudanças assim que a necessidade das alterações se tornar evidente, pois a postergação desse ato pode prejudicar o processo. Quanto à análise em si, os autores destacam alguns papéis que devem ser desempenhados pelo facilitador:

- Garantir que os analistas não se preocupem com assuntos de gestão (pautas, notas e atas de reunião), permanecendo livres para contribuir com idéias e reflexões;
- Equilibrar a quantidade de tarefas planejadas com o tempo que o grupo possui disponível, ou seja, garantir que a agenda seja realista. Ressalta-se que flexibilidade é importante, mas o facilitador deve consultar o grupo sobre alterações significativas na agenda proposta para que os membros aceitem (ou não) a responsabilidade pelas mudanças;

- Assegurar que todos os membros tenham a oportunidade de contribuir, inserindo na negociação os participantes com menos habilidades sociais ou menos dominantes que os outros. Dessa forma, entende-se que durante os encontros o papel do facilitador é guiar o processo analítico sem de descuidar do processo social.

Outro ponto a ser destacado é que os participantes do processo de tomada de decisão devem ser encorajados a trabalhar entre os encontros. Eles podem refletir a respeito do resultado das reuniões anteriores e sobre a estratégia adotada para as próximas etapas a serem desenvolvidas. Esse papel, preferencialmente, não deve ser apenas do facilitador; os analistas e decisores podem, inclusive, buscar entender o modelo de agregação utilizado a fim de que sua participação seja mais consistente. Eles podem avaliar, por exemplo, a dimensão do benefício de se discutir diferenças de julgamento a respeito de critérios a que foram atribuídos pesos reduzidos, de forma a priorizar as etapas que exercem maior influência sobre o resultado.

Em contextos com muitos envolvidos ou divergência de interesses, onde geralmente as consequências são significativas, o facilitador é o responsável por dirigir o processo analítico e pela gestão do grupo, como ilustrado na Figura 3. Assim, a linha pontilhada que circunda o termo “*analistas*” na ilustração indica que esses participantes estão diretamente envolvidos no estudo que subsidiará o processo de tomada de decisão. Já a linha contínua que envolve o termo “*decisores*” simboliza a responsabilidade desses membros pela tomada de decisão, o que faz com que eles sejam os principais interessados no processo. Finalmente, a linha descontínua ao redor do termo “*facilitador*” sugere que esse participante realizará a gestão da análise, e poderá, inclusive, ser responsável por aspectos desconhecidos pelos decisores. Especialmente nesses casos, é imprescindível que a equipe confie plenamente na imparcialidade do facilitador e nos modelos adotados. Dessa forma, é fundamental que haja transparência, e, para isso, as reuniões podem ser gravadas, a fim de que o posicionamento dos membros seja registrado. Belton e Stewart (2002) sugerem que os caminhos através dos quais essas expressões foram transformadas no resultado final também sejam documentados.

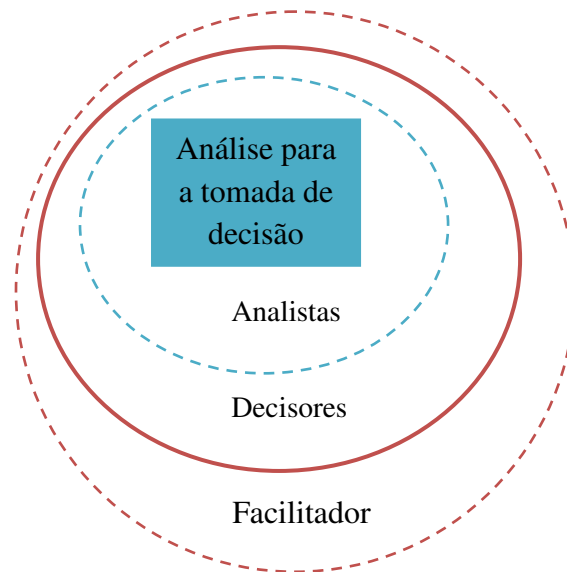


Figura 3 – Papel do facilitador nos MMAD

Há situações, entretanto, onde o facilitador é convidado a auxiliar um grupo pequeno e relativamente homogêneo. Nesses casos, muitos dos procedimentos sugeridos anteriormente podem não ser necessários. Pelo contrário, o clima de informalidade e o estabelecimento de uma relação de confiança entre os membros do grupo podem ser benéficos ao processo, melhorando o resultado obtido.

Outro ponto destacado por Belton e Stewart (2002) são as trivialidades do processo de tomada de decisão, muitas vezes negligenciadas, mas que consistem em elementos importantes de uma intervenção bem-sucedida. Alguns aspectos enumerados pelos autores são:

- No espaço disponível para a realização das reuniões, os envolvidos na análise devem conseguir ver e ouvir uns aos outros com facilidade;
- Deve haver espaço na parede ou em um *flipchart*<sup>7</sup> para a realização de anotações, e elas devem ser visualizadas por todos sem esforço;
- O facilitador deve possuir quantidade adequada de canetas e escrever de forma legível;

<sup>7</sup> *Flipchart* é um tipo de cavalete em que fica preso um bloco de papéis. Deste modo, quando o papel está cheio, o apresentador simplesmente vira a folha, sem perder tempo apagando o que está escrito.

- Se um modelo computacional for requerido, preferencialmente deve haver equipamento adequado para projeção;
- Questões sobre temperatura, iluminação e ventilação também devem ser consideradas, pois se os participantes estiverem desconfortáveis eles não estarão focados na reunião. Trabalhar em ambientes artificiais por longos períodos pode ser muito cansativo, assim como permanecer por horas na mesma posição. Para minimizar esses aspectos, recomenda-se que sejam reservados alguns minutos para a realização de exercícios de ginástica laboral e que sejam realizados intervalos no trabalho, preferencialmente em outro local, de forma a estimular a produtividade do grupo.

#### *2.4 Métodos de agregação utilizados nos MMAD*

Em processos de tomada de decisão, se as avaliações de uma opção de acordo com os critérios selecionados forem *em média* melhores que as avaliações de outra opção, ela será considerada melhor que essa opção (SOARES, 2004). Portanto, para que as alternativas possam ser comparadas, as avaliações de acordo com os diferentes aspectos devem ser agregadas. Apresentam-se, a seguir, alguns dos métodos de agregação mais utilizados.

##### *Agregação por meio de métodos de critério único de síntese*

Nos métodos de critério único de síntese a classificação das opções é direta. Essas técnicas assumem que há uma função de utilidade para a preferência do decisor, da qual deriva a valoração das alternativas. Realiza-se a avaliação dessa função principalmente por meio de modelos aditivos e multiplicativos, e, de acordo com Gartner (2001) em Vilas Boas (2006), considera-se válido o princípio da transitividade<sup>8</sup>. O pesquisador esclarece que não se considera a possibilidade de incompatibilidade das alternativas, ou seja, levam-se em conta apenas a indiferença ou a preferência entre as opções, o que resulta em ordenações totais.

Entre esses métodos, destacam-se a soma ponderada, o produto ponderado e a soma ponderada modificada (SOARES, 2004). Na soma ponderada, multiplicam-se os pesos dos critérios

---

<sup>8</sup> De acordo com o princípio da transitividade, se A é preferível a B e B é preferível a C, então, A é preferível a C.

$(p_1, p_2, \dots, p_n)$  pelas respectivas avaliações  $(c_1, c_2, \dots, c_n)$ . Através da soma dos resultados obtém-se a avaliação total de cada opção, como se observa na Equação 1. Se a soma dos pesos for diferente de um, deve-se dividir o resultado pelo valor correspondente, como se observa na ilustração.

$$\text{Soma ponderada} = (c_1 \cdot p_1 + c_2 \cdot p_2 + \dots + c_n \cdot p_n) / (p_1 + p_2 + \dots + p_n)$$

Equação 1 - Soma ponderada

Fonte: Soares (2004)

A soma ponderada consiste na técnica mais simples e lógica para a agregação das avaliações. No entanto, Soares (2004) explica que a metodologia é sensível a mudanças de escalas. A expressão do consumo de água em litros ou em metros cúbicos, por exemplo, conduz a mudanças significativas no resultado. Outra desvantagem é a compensação entre critérios. Uma boa avaliação em um dos critérios compensa uma avaliação negativa em outro. Para amenizar a compensação entre critérios pode-se utilizar o produto ponderado, como demonstrado na Equação 2. Nesse caso, a atribuição do valor zero para a avaliação de uma alternativa em relação a um dos critérios representa a intenção deliberada de exclusão da alternativa.

$$\text{Produto ponderado} = (c_1 \wedge p_1 \times c_2 \wedge p_2 \times \dots \times c_n \wedge p_n) / (p_1 + p_2 + \dots + p_n)$$

Equação 2 - Produto ponderado

Fonte: Soares (2004)

Para evitar os problemas de escala, por sua vez, Soares (2004) recomenda a utilização da soma ponderada modificada (Equação 3). Na utilização desse método, estabelece-se uma alternativa hipotética para referência (alternativa ideal). Então, obtêm-se os desvios das opções em relação à referência para cada critério, e a opção escolhida será aquela na qual a soma dos desvios for mínima. Ressalta-se que a compensação de critérios, problema encontrado na soma ponderada, permanece. Para minimizar a questão podem ser adotados valores de veto para alguns critérios, os quais precisam ser atendidos para que a alternativa não seja eliminada. O autor também destaca a necessidade de prestar atenção à atribuição do valor zero à avaliação em relação a um dos critérios, pois devido ao tratamento matemático o resultado obtido não é o mesmo que no método anterior.



Opção escolhida na soma ponderada modificada

$$\text{Mín} = \sum (\text{desvio} \times \text{peso})$$

Equação 3 - Soma ponderada modificada

Fonte: Soares (2004)

### Exemplos de métodos de agregação por critério único de síntese

Para ilustrar a aplicação dos métodos de critério único de síntese serão abordados, a seguir, o processo analítico de hierarquia (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) e a medida de atratividade pela avaliação baseada em categorias (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique - MACBETH*).

#### ***Analytic Hierarchy Process (AHP)***

Há grande probabilidade de a modelagem do problema consistir na etapa do processo de tomada de decisão com maior influência sobre o resultado. Por isso, a fim de garantir uma abordagem adequada, o método denominado *Analytic Hierarchy Process (AHP)* estrutura a questão considerada de forma hierárquica (SAATY, 1990). Para o autor, a complexidade de algumas situações pode ser um problema maior que o estabelecimento de um consenso em tomadas de decisão, e a natureza holística<sup>9</sup> de determinadas questões torna necessária a sua divisão em aspectos menores para que diferentes grupos de especialistas determinem como eles afetarão a situação original. Dessa forma, para estruturar a decisão, a meta mais geral é decomposta em seus fatores mais específicos e mais facilmente controlados. O próximo passo da técnica consiste na avaliação das alternativas, primeiramente, de acordo com os critérios mais simples, e então, de acordo com os outros fatores, até os mais genéricos, de tal maneira que seja possível realizar comparações.

Assim sendo, as ações requeridas para a construção de uma *AHP* são: 1) estruturar o problema com um modelo que mostre os seus elementos e as relações entre eles; 2) explicitar julgamentos que refletem conhecimento, sentimentos ou emoções; 3) realizar avaliações através de

---

<sup>9</sup> Questões holísticas são aquelas compostas por vários fatores interdependentes entre si.

números significativos; 4) utilizar esses números para calcular as prioridades dos elementos da hierarquia; 5) sintetizar os resultados para determinar o resultado global; e 5) testar a sensibilidade do resultado a mudanças de julgamento (SAATY, 1990).

Ao detalhar a operacionalização da técnica, Bortot e Pereira (2013) explicam que a *AHP* é baseada em matrizes de comparações par a par em dois níveis fundamentais, como se observa na Figura 4. No menor nível é estabelecida uma matriz para cada critério para que as alternativas sejam comparadas; enquanto o nível mais alto envolve uma única matriz, na qual as avaliações em relação a todos os critérios são confrontadas. Em sua forma mais geral, o nível mais elevado da *AHP* pode, também, ser estruturado hierarquicamente, com várias camadas de critérios, ou pode haver um único estrato, com apenas uma matriz de comparação entre os aspectos, denominada matriz principal da *AHP*. Os pesquisadores explicam que a técnica extrai da matriz principal um vetor de prioridade de pesos dos critérios. Os componentes positivos desse vetor são normalizados para que a sua soma seja igual a um, o que facilita a comparação de parâmetros medidos em diferentes escalas. Analogamente, para cada critério no nível mais baixo, o modelo extrai da matriz gerada um vetor de prioridades cujos componentes representam as avaliações das alternativas de acordo com o critério correspondente.

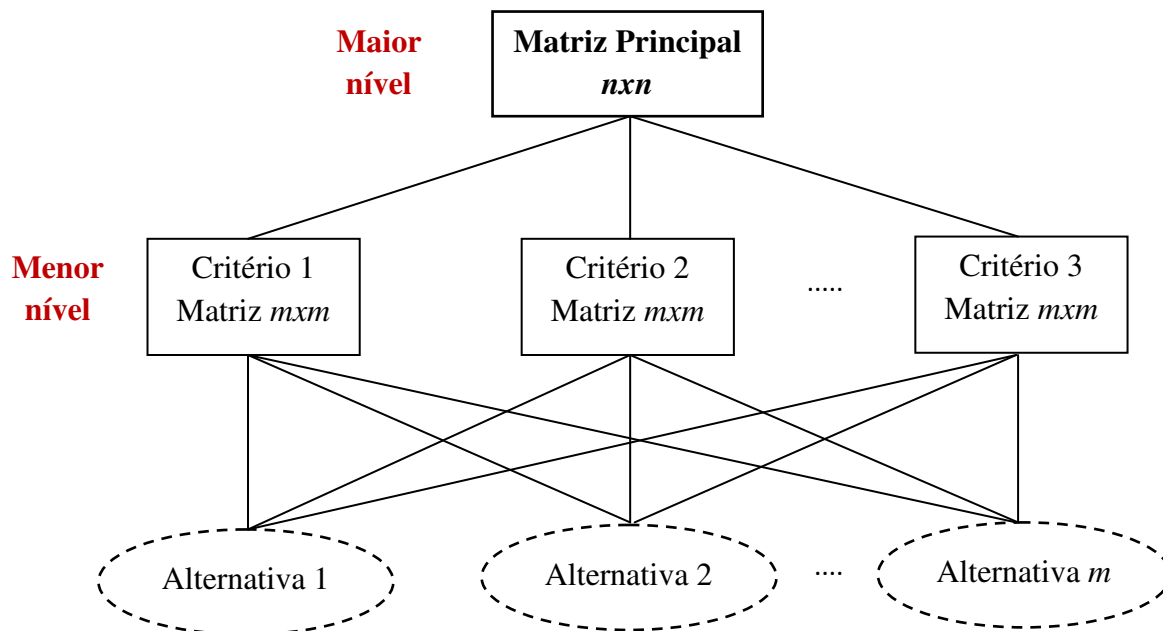


Figura 4 – Hierarquia da AHP

Fonte: Bortot e Pereira (2013)

Saaty (1990), pesquisador conhecido como o fundador da técnica, apresenta as seguintes sugestões para a realização de uma *AHP*:

- Identificar a meta geral;
- Identificar as submetas que compõem a meta geral, e caso seja relevante, identificar horizontes temporais que afetam a decisão;
- Identificar os critérios para o atendimento das submetas que compõem a meta geral;
- Identificar os subcritérios que compõem cada critério, sendo que os critérios e subcritérios devem ser especificados através de intervalos de valores de parâmetros ou em termos de intensidades verbais como baixa, média ou alta;
- Identificar os atores envolvidos;
- Identificar as metas dos atores;
- Identificar as políticas dos atores;
- Identificar opções ou resultados;
- Para decisões “sim-não”, assumir que o resultado desejado será alcançado e comparar os benefícios e custos da execução da decisão com os de sua não execução;
- Realizar uma Análise Custo Benefício, considerando-se valores marginais, através do questionamento de qual alternativa proporciona o maior benefício, qual representa o maior custo e qual possui o maior risco, uma vez que as hierarquias representam relações de dominância.

Como principal vantagem do método destaca-se que não é requerido conhecimento especializado para a estruturação da análise e para a incorporação do processo de tomada de decisão na mesma, o que ocorre em muitas técnicas tradicionais. Para Saaty (1990), a *AHP* não requer especialização excessiva para domínio e comunicação. O autor destaca ainda que a técnica é de simples construção; é adaptável a grupos e indivíduos; é natural à nossa intuição e pensamento geral; e incorpora diferenças de opinião com a habilidade de desenvolver o compromisso para o consenso.

Por outro lado, por se tratar de um modelo aditivo de agregação, uma boa avaliação quanto a um critério pode compensar uma deficiência observada em relação a outro (LI *et al.*, 2013). Além disso, apesar de a teoria empregada nos MMAD requerer que os pesos dos atributos e as respectivas escalas de valores estejam alinhados, a *AHP* assume que o julgamento dos elementos da hierarquia não depende dos elementos dos níveis mais baixos. Nesse sentido, Lin (2013) explica que a estrutura

intrínseca da técnica (comparação de pares), assim como ocorre na atribuição direta de pesos aos critérios, não requer a consideração transversal dos valores, o que pode prejudicar o resultado da análise.

Ressalta-se, no entanto, que a normalização matemática proposta minimiza essa questão. Além disso, Cancer e Mulej (2013), ao sugerir a combinação de soluções criativas com os MMAD para a solução de problemas, aconselham a realização de questionamentos específicos que estimule a reflexão no momento da atribuição de pesos aos critérios. Nesse sentido, os autores destacam a importância do envolvimento de profissionais com comportamento cooperativo e que atuam em diferentes áreas, o que facilitará a realização de uma análise holística e interdisciplinar.

### ***Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)***

O método *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)* requer julgamentos qualitativos para ajudar o tomador de decisão a quantificar a atratividade relativa das opções (BANA e COSTA e VANSNICK, 1997). Assim sendo, a técnica define a performance quantitativa das alternativas por meio da agregação de comparações qualitativas par a par, de forma análoga à *AHP*, com a diferença de que os resultados são processados de acordo com a teoria da medição. A metodologia possui, basicamente, duas etapas: 1) a determinação da escala de valores no nível de cada critério (atratividade parcial); e 2) a determinação dos pesos de cada critério (atratividade global) (JOERIN *et al.*, 2010).

Na primeira etapa, para a transformação do julgamento nominal em informação cardinal, os decisores ou especialistas respondem a questões simples sobre as diferenças de atratividade entre duas opções. A questão geral é: “Qual a diferença de atratividade entre  $x$  e  $y$ ?”. Existem sete categorias de resposta: “nula”, “muito fraca”, “fraca”, “moderada”, “forte”, “muito forte” e “extrema”. Quando não há certeza quanto à resposta é possível selecionar mais do que uma categoria sucessiva (BANA e COSTA e VANSNICK, 1997). Para auxiliar os decisores nas respostas, eles são convidados a definir o nível mais baixo e o nível mais alto de atratividade para cada critério. O valor mais baixo normalmente é associado à opção “ausência de ação” e aos impactos resultantes. Destaca-se, ainda, que a diferença entre o nível mais baixo e o nível mais alto define o que os decisores consideram ser um significativo aumento de qualidade. Dessa maneira, as opções são comparadas

por descritores<sup>10</sup> de desempenho, que, dependendo dos critérios considerados, podem ser quantitativos, qualitativos, binários (presença ou ausência) ou complexos (uma imagem, por exemplo)

Já a atratividade global considera a atratividade parcial de cada critério e seus respectivos pesos. Para calcular os pesos, os decisores descrevem as diferenças de atratividade entre critérios e entre opções, que são, nesse caso, alternativas virtuais construídas através do conjunto de níveis mais baixos de opções definidas anteriormente. A primeira alternativa virtual considera o nível de referência inferior para todos os critérios, e para as outras alternativas, apenas um critério é elevado ao maior nível de referência (JOERIN *et al.*, 2010).

Por meio desse processo são geradas informações valiosas para a aplicação do modelo de agregação utilizado no cálculo da atratividade global, as quais estimulam a reflexão dos decisores sobre as suas preferências. Dessa forma, apesar das diferenças fundamentais entre os métodos *MACBETH* e *AHP*, ambos são caracterizados pela habilidade em ajudar os decisores não apenas na agregação de informação, mas na obtenção de uma visão mais clara da situação (BANA e COSTA e VANSNICK, 1997). É importante ressaltar, ainda, que o *MACBETH* é suportado pelo software *M-MACBETH*, e, assim sendo, para a sua aplicação são necessários conhecimentos específicos.

### ***Agregação via métodos de subordinação ou outranking***

Os métodos *outranking* possuem como princípio a seleção de possíveis alternativas não avaliadas diretamente pelos tomadores de decisão. Para tanto, as opções possíveis são comparadas com as duas ou três melhores soluções identificadas pelos decisores, e são eleitas aquelas que superarem uma ou mais (BELTON e STEWART, 2002). Operacionalmente, a opção *a* é comparada com a opção *b*, e se ela for considerada pelo menos tão boa quanto a opção *b*, diz-se que *a outranks b* (GARTNER, 2001 em VILAS BOAS, 2006). No método ELECTRE, que se enquadra nessa categoria, a comparação das alternativas tem como resultados possíveis:

- ✓ *a* é indiferente a *b*: as evidências sugerem a equivalência entre as alternativas;
- ✓ *a* é preferível a *b*: as evidências sugerem a preferência significativa de *a* em relação a *b*;
- ✓ *a* é incomparável com *b*: não existem evidências que sugiram as situações acima.

---

<sup>10</sup> Um descritor é um conjunto ordenado de níveis de possíveis impactos associados a cada critério.

Essas técnicas são recomendadas quando duas ou mais opções são consideradas igualmente boas, sendo difícil eleger a preferida; quando as melhores alternativas possuem pontos fortes e fracos distintos, mas nenhuma é considerada boa o suficiente; ou ainda quando existe uma deficiência em uma opção adequada quanto aos demais aspectos. Para Belton e Stewart (2002), essas situações devem ser estudadas por meio dos métodos *outranking*, que permitem a avaliação de situações incomparáveis e consideram a performance das alternativas, as quais seriam mascaradas pelos valores resultantes do emprego de alguns métodos aditivos. Assim, essas técnicas permitem a análise da incompatibilidade entre as alternativas, que podem ocorrer devido à incerteza e à imprecisão dos dados utilizados e às características próprias do decisor. Outra vantagem desses métodos é que o conceito de transitividade não precisa ser atendido (VILAS BOAS, 2006).

No primeiro caso citado por Belton e Stewart (2002), onde duas opções igualmente boas são identificadas, os pesquisadores sugerem a reflexão adicional. Para tanto, podem ser empregadas ferramentas como o “*o advogado do anjo e do demônio*”<sup>11</sup>, que dirige o raciocínio para vantagens ainda não identificadas e para falhas desastrosas das alternativas. Em situações onde as opções possuem pontos fortes distintos mas nenhuma foi considerada satisfatória, os autores sugerem que sejam exploradas outras soluções ou que seja criada uma terceira possibilidade através da combinação das duas disponíveis. No último caso, onde a melhor alternativa possui uma deficiência em um dos aspectos, pode-se estudar uma maneira de revertê-lo, quando possível; e quando esse defeito for decorrente de fatores externos e não controláveis, recomenda-se que se avalie o risco que ele representa e se vale à pena assumi-lo para usufruir dos pontos fortes oferecidos pela opção.

### ***Agregação via métodos iterativos***

A incerteza é uma característica inevitável da modelagem matemática de situações reais, pois, muitas vezes, o usuário não possui informações suficientes para determinar o valor exato dos parâmetros necessários para a utilização do modelo. Para superar essa dificuldade podem ser utilizados os métodos iterativos ou *Multi-Objective Decision Making (MODM)*, que trabalham com intervalos de dados (HAJIAGHA, MAHDIRAJI e HASHEMI, 2013). Essas técnicas fornecem uma primeira resposta por meio do processamento computacional das informações por meio de conjuntos contínuos de alternativas com espaços contínuos de soluções, e após a consideração de outros

---

<sup>11</sup> *Angel's and Devil's Advocate.*

aspectos, os analistas ou decisores realizam aproximações. A principal vantagem desses métodos é que não precisam ser determinados números exatos para os parâmetros, o que evita uma complexidade desnecessária. Além disso, a flexibilidade obtida com a utilização de intervalos de números, que possui grande aplicação em problemas de otimização, pode ser útil na superação da subjetividade da avaliação dos impactos ambientais em categorias (GARTNER e GAMA, 2005). Cita-se, como limitação dessas técnicas, a sua dependência em relação aos recursos computacionais requeridos e a necessidade de profissionais capacitados para trabalhar com esses modelos específicos. Destaca-se, ainda, que os métodos interativos são menos abordados na literatura que as outras técnicas de agregação, mas o desenvolvimento de pesquisas como a de Hajiagha, Mmahdiraji e Hashemi (2013) pode vir a preencher essa lacuna.

### *Considerações finais*

Diante das diferentes técnicas disponíveis, a pergunta que permanece é: qual é o método de agregação mais indicado? Nesse sentido, destaca-se que uma das dificuldades na aplicação dos MMAD é a falta de consenso quanto à influência do procedimento de agregação no resultado da análise. Para se ter uma idéia, Renn (1986) questionou até mesmo a aplicação dos métodos matemáticos utilizados, pois, para ele, a agregação é um processo político. Ele defende que se o auxílio de um analista for demandado (o que geralmente não é o caso), ele deve se concentrar em revelar as fronteiras que definem a opção por uma alternativa ou por outra. Dessa forma, a implementação de procedimentos políticos específicos pode superar alguns impactos negativos associados à alternativa mais promissora ou duas ou mais opções podem ser combinadas para que se obtenha uma alternativa mais vantajosa. Assim, o pesquisador explica que as negociações são tão complexas que é inviável fazer com que elas se encaixem em um procedimento puramente matemático.

Portanto, para Renn (1986), se os tomadores de decisão tiverem uma boa idéia do que esperar das alternativas possíveis, se todos os aspectos relevantes forem considerados na análise e se os pesos atribuídos a cada dimensão refletirem as expectativas e *trade offs* da população, então os decisores possuem os insumos para tomar uma decisão racional que não pode ser melhorada. Dessa forma, não há necessidade de confiná-la a um procedimento específico de agregação. Outro ponto destacado pelo autor quanto à agregação é a importância da análise de sensibilidade, que consiste na alteração de diferentes parâmetros ou avaliações para que o tomador de decisão perceba quais

aspectos exercem maior influência na avaliação global. Para ele, a estratégia mais adequada para uma tomada de decisão racional é a combinação das avaliações ponderadas, que consistem nas técnicas mais simples de agregação, com a análise de sensibilidade. O pesquisador destaca, ainda, que as incertezas envolvidas no modelo devem ser conhecidas.

No entanto, os métodos matemáticos de agregação continuaram a ser empregados nos MMAD desenvolvidos, pois a maioria dos especialistas continuou a acreditar que eles facilitam a análise. Para Belton e Stewart (2002), por exemplo, o facilitador pode até ser dispensado, mas, para tanto, os decisores devem aprender a aplicar os MMAD, inclusive as técnicas de agregação, como parte da sua própria investigação, sem a necessidade de serem tornarem especialistas técnicos na área. Os pesquisadores explicam ainda que o processo de decisão pode se basear em um procedimento estritamente político ou em um procedimento estritamente matemático de tratamento de informações, mas que essas técnicas não são recomendadas, pois elas resultam em acordos frequentemente desconfortáveis e instáveis. Por isso, para a procura de um consenso criativo entre atores com interesses divergentes sugere-se a combinação das opções anteriores.

A discussão seria, então, se a opção por um método ou outro influenciaria o resultado significativamente. Kollat e Reed (2006), por exemplo, demonstraram a superioridade do Algoritmo Genético Ordenado Não-Dominado com  $\epsilon$ -Dominância II (*Epsilon-Dominance Non-Dominated Sorted Genetic Algorithm II –  $\epsilon$ NSGAI*) sobre outros métodos iterativos na avaliação do monitoramento a longo prazo da qualidade de águas subterrâneas. Hajkowicz e Collins (2007), por outro lado, ao comparar diferentes metodologias de agregação, concluíram que não existem vantagens claras de uma técnica sobre a outra, pois o que importa é a seleção dos critérios e das opções de decisão. Para os pesquisadores os algoritmos são bons o suficiente, sendo necessária a sua aplicação.

Para Vilas Boas (2006), a forma de tratamento analítico da informação é tão importante quanto a própria qualidade da informação disponível ao longo do processo de resolução de um problema complexo. Fundamentalmente, ela deve agregar valor à qualidade da informação, havendo, por conseguinte, uma relação estreita entre a qualidade da informação e a qualidade do apoio à tomada de decisão (GOMES e MOREIRA, 1998 em VILAS BOAS, 2006). Por isso, a autora defende que os resultados obtidos com os MMAD dependem do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, da escolha e estruturação dos critérios, dos valores de ponderação atribuídos aos critérios, do método de agregação utilizado e da participação dos diferentes atores (SOARES, 2003 em VILAS BOAS, 2006).



Diante do exposto tornou-se evidente que a modelagem do problema está intimamente ligada à natureza das interações entre os participantes, como observado por Belton e Stewart (2002), e que diferentes maneiras de trabalhar serão mais apropriadas em diferentes contextos com decisões, requerimentos e restrições também distintos.

Após a aplicação do método de agregação, normalmente são realizados testes que permitem avaliar a sensibilidade do cumprimento da meta de acordo com variações nos pesos definidos para os critérios, como se observa no trabalho de Cancer e Mulej (2013). Nesse sentido, Langston (2013) afirma que apesar de os pesos atribuídos aos critérios consistirem em motivo de preocupação devido ao entendimento de que eles podem conduzir a um resultado tendencioso, o risco é reduzido quando mais critérios são considerados, uma vez que cada aspecto exercerá menor influência na decisão final. Assim, o autor explica que um viés deliberado exige um esforço concentrado para que seja atribuído grande peso a um critério que favoreça uma alternativa pré-selecionada. Portanto, a incerteza na definição dos pesos dos critérios, via de regra, não elevará o risco da análise, e a realização extensiva de testes de sensibilidade só é necessária quando houver indícios de posicionamentos deliberadamente tendenciosos.

### *2.5 Vantagens e limitações dos MMAD*

A principal vantagem dos MMAD consiste na sua habilidade em refletir situações reais, onde frequentemente múltiplos aspectos estão envolvidos. Soares (2004) e Vilas Boas (2006) explicam que cada alternativa deve ser interpretada como um acordo entre objetivos em conflito, pois raramente será encontrada uma situação em que exista uma alternativa superior às restantes sobre todos os pontos de vista. Assim, deve-se renunciar à utopia da escolha ótima em prol da melhor solução disponível. Nesse sentido, destaca-se que os MMAD, além de favorecerem a convergência de metas conflitantes, facilitam o diálogo entre grupos sociais com interesses distintos (RENN, 1986).

Uma limitação das técnicas econômicas tradicionais, como a Análise Custo Benefício, é que elas não representam adequadamente benefícios que não podem ser quantificados em termos monetários. Isso reforça a aplicação dos MMAD em decisões envolvendo a gestão de recursos hídricos, que são tipicamente guiadas por múltiplos objetivos medidos em diferentes unidades. Essas questões normalmente têm importantes fatores não financeiros e envolvem interesses de múltiplos atores, o que favorece a escolha dessas técnicas (HAJKOWICZ e COLLINS, 2007).

Além disso, na Análise Custo Benefício, ao se buscar a eficiência econômica, não se considera a distribuição dos benefícios entre grupos específicos da população. Para Pindyck e Rubinfeld (1994), em termos práticos, existe uma permuta entre os objetivos de equidade e de eficiência. Assim, se a sociedade deseja atingir a eficiência econômica, poderá haver menor preocupação com questões distributivas. Os MMAD, por sua vez, possuem maior facilidade na consideração de questões de equidade (HAJKOWICZ e COLLINS, 2007).

Para Cancer e Mulej (2013) muitos problemas são mal definidos e conseqüentemente mal estruturados nas empresas. As metodologias propostas para os MMAD requerem que o problema seja bem estudado, o que minimiza essa questão. Além disso, como os métodos requerem que todas as partes declarem explicitamente as suas preferências através de um processo ordenado, eles fornecem clareza e transparência ao processo (GOMES e MOREIRA, 1998). Esse aspecto é reforçado pelo rigor analítico e pela auditabilidade das decisões (DUNNING, ROSS e MERKHOFFER, 2000). Ressalta-se que essas características, normalmente vistas como vantagens dos MMAD, podem consistir em um empecilho à sua utilização, pois tomadores de decisão, às vezes, seja aberta ou veladamente, não desejam ser transparentes (HAJKOWICZ e COLLINS, 2007). Contudo, se houver um esclarecimento nesse sentido, ao aplicar esses métodos em suas análises o gestor transmitirá à população o seu desejo de ser democrático e transparente. Assim, essas técnicas fornecem aos decisores os instrumentos que eles necessitam para tomar decisões efetivas e que possam ser defendidas, se necessário (BELTON e STEWART, 2002).

Belton e Stewart (2002) explicam que os métodos auxiliam os tomadores de decisão a compreender o problema, os seus próprios valores e prioridades e o posicionamento dos outros envolvidos, pois outros pontos de vista e argumentos antagônicos são levados em consideração. Nesse sentido, os autores destacam que os MMAD consistem em uma ferramenta útil para os gestores testarem a sua intuição, já que quando a solução preferida não emerge como a melhor opção, ou pior, nem mesmo entre as alternativas viáveis, o grupo tende a questionar o seu julgamento e a rever a sua opinião.

Diakoulaki e Mavrotas (2004) apontam como vantagens desses métodos a construção de uma base para o diálogo entre analistas e decisores que fazem uso de diversos pontos de vista comuns e a facilidade em incorporar incertezas aos dados sobre cada ponto de vista. Os autores destacam ainda a multidisciplinaridade da análise, fundamental para o tratamento adequado de questões ambientais, entre elas as que envolvem os recursos hídricos.

A maioria dos MMAD são aplicados por meio de modelos computacionais, mas as técnicas requerem a participação humana. Apesar de inserir subjetividade na análise, esse envolvimento

possibilita o pensamento holístico e a seleção de uma alternativa viável através da cooperação criativa e interdisciplinar entre especialistas (CANCER e MULEJ, 2013). Para os pesquisadores, essa sinergia resulta em um procedimento claro para a aquisição e avaliação dos dados, e a realização simultânea da análise por todos os membros da equipe favorece a troca de sentimentos e emoções, como o otimismo, o pessimismo e a criatividade. Dessa maneira, a análise e a implementação da decisão são aprimoradas.

Por outro lado, como limitações dos MMAD destacam-se a dificuldade na obtenção das informações para a construção da matriz de avaliação das alternativas; assim como a dificuldade na minimização dos desvios de atingimento das metas, que está sujeita a uma série de restrições, sendo a mais frequente a limitação na disponibilidade de recursos (VILAS BOAS, 2006).

Além disso, para Cancer e Mulej (2013), na maioria das vezes, os decisores não estão cientes das relações entre os diferentes fatores para que a meta seja atendida, o que prejudica a atribuição de pesos aos critérios definidos para a avaliação das alternativas. Ao tratar especificamente da AHP, Lin (2013) afirma que a estrutura de comparação par a par dificulta que os analistas e decisores visualizem a interdependência entre os aspectos considerados e as escalas utilizadas para a medição das performances das opções, o que pode resultar na adoção de pesos e escalas de medida equivocados para a avaliação das alternativas.

Fernandes (1996) destaca ainda as seguintes dificuldades na aplicação dos MMAD: dificuldade em identificar boas opções; presença de fatores intangíveis; multiplicidade de grupos afetados pelas decisões; horizonte de longo prazo; risco e incerteza; risco à vida; natureza interdisciplinar dos impactos; e presença de vários decisores. Ressaltam-se, por fim, a dificuldade na escolha do método de agregação apropriado para cada caso específico, como discutido na *Seção 2.4*; as restrições quanto à generalização do resultado da análise, uma vez que ele depende das preferências dos decisores e das premissas adotadas, como explicado na *Seção 2.2*; e a possibilidade de os tomadores de decisão indicarem analistas deliberadamente e controlarem as premissas consideradas de forma a utilizar os MMAD para justificar decisões pré-estabelecidas. O Quadro 1 apresenta a síntese das vantagens e limitações dos MMAD.

Quadro 1 – Vantagens e limitações dos MMAD

| Vantagens  | Limitações   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Refletem situações reais, as quais possuem múltiplos aspectos (SOARES, 2004; VILAS BOAS, 2006);</li> <li>• Reconciliam objetivos conflitantes (SOARES, 2004; VILAS BOAS, 2006) e favorecem a resolução de conflitos entre grupos (RENN, 1986);</li> <li>• Possibilitam a inserção de benefícios que não podem ser medidos diretamente em unidades monetárias (HAJKOWICZ e COLLINS, 2007);</li> <li>• Favorecem a consideração de questões de equidade (HAJKOWICZ e COLLINS, 2007);</li> <li>• Promovem a definição e a estruturação dos problemas avaliados (CANCER e MULEJ, 2013);</li> <li>• Fornecem clareza e transparência ao processo (GOMES e MOREIRA, 1998; DUNNING, ROSS e MERKHOFFER, 2000), favorecendo tomadas de decisão efetivas e defensáveis (BELTON e STEWART, 2002);</li> <li>• Estimulam a reflexão a respeito do problema estudado e dos aspectos envolvidos na análise (BELTON e STEWART, 2002);</li> <li>• Promovem o diálogo entre analistas e decisores (DIAKOULAKI e MAVROTAS, 2004);</li> <li>• Possibilitam a incorporação de incertezas (DIAKOULAKI e MAVROTAS, 2004);</li> <li>• A análise é multidisciplinar, o que é fundamental em questões ambientais (DIAKOULAKI e MAVROTAS, 2004);</li> <li>• A participação humana possibilita o pensamento holístico, o trabalho interdisciplinar e a troca de sentimentos e emoções, o que favorece a seleção de uma alternativa viável e o aperfeiçoamento da sua implementação (CANCER e MULEJ, 2013).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Não garantem o atendimento da eficiência econômica (SOARES, 2004; VILAS BOAS, 2006);</li> <li>• A participação humana insere subjetividade na análise (CANCER e MULEJ, 2013);</li> <li>• Normalmente há dificuldade na obtenção das informações necessárias para a avaliação das alternativas (VILAS BOAS, 2006);</li> <li>• Devido às restrições, há dificuldade na limitação dos desvios de atendimento das metas (VILAS BOAS, 2006);</li> <li>• A estruturação de algumas técnicas dificulta a visualização da interdependência entre os critérios e escalas utilizadas para a sua mensuração, o que pode resultar na atribuição de valores inadequados (CANCER e MULEJ, 2013; LIN, 2013);</li> <li>• Pode haver dificuldade em identificar boas opções (FERNANDES, 1996);</li> <li>• Muitas vezes estão presentes fatores intangíveis (FERNANDES, 1996);</li> <li>• Frequentemente há necessidade de consideração de horizonte temporal de longo prazo (FERNANDES, 1996);</li> <li>• Há risco e incerteza e pode haver risco à vida (FERNANDES, 1996);</li> <li>• Os impactos são interdisciplinares (FERNANDES, 1996);</li> <li>• Normalmente há vários decisores (FERNANDES, 1996), o que dificulta a negociação;</li> <li>• Há dificuldade na seleção do método de agregação apropriado para cada caso específico;</li> <li>• O resultado da análise não pode ser generalizado para outras situações (SOARES, 2004; VILAS BOAS, 2006);</li> <li>• Se não forem bem aplicados, os MMAD podem ser utilizados com fins justificacionistas.</li> </ul> |

Fonte: Estruturado pela autora com base nas fontes mencionadas no quadro.

## Capítulo 3 – MMAD, Abastecimento de Água e Exploração de Petróleo: Etapas Preliminares

A fim de ilustrar a aplicação dos MMAD, nos dois próximos capítulos será apresentado um estudo de caso, que consiste na avaliação de alternativas de abastecimento de água para uma unidade industrial de uma empresa. Ressalta-se que esse estudo consiste em uma situação hipotética com fins analíticos, com o objetivo de ilustrar a aplicação da metodologia proposta. No presente capítulo serão analisadas as cinco primeiras etapas, e as fases analíticas finais serão objeto do *Capítulo 4*.

### 3.1 Proposição de metodologia para MMAD

Com base no referencial teórico abordado no capítulo anterior, propõe-se a realização das seguintes etapas para a tomada de decisão em contextos que envolvem múltiplos critérios:

- Etapa 1: Definição dos metacritérios para a análise;
- Etapa 2: Estabelecimento do contrato entre os tomadores de decisão e o facilitador;
- Etapa 3: Definição objetiva do problema;
- Etapa 4: Seleção dos critérios considerados para a avaliação das alternativas;
- Etapa 5: Geração de possíveis alternativas para a solução do problema;
- Etapa 6: Estudo das alternativas com base nos critérios definidos;
- Etapa 7: Definição de pesos relativos para os critérios;
- Etapa 8: Avaliação das alternativas de acordo com os critérios;
- Etapa 9: Aplicação de método de agregação para obtenção de uma avaliação final para cada alternativa;
- Etapa 10: Comparação das avaliações finais das alternativas e indicação das opções mais vantajosas ao tomador de decisão.

Para a operacionalização das etapas descritas, propõe-se que os analistas sejam auxiliados por um facilitador, que será o responsável pela administração e pela gestão do processo de tomada de decisão. No presente estudo de caso, para a diferenciação entre os conceitos administração e gestão, adotou-se a proposta de Dias (2002), ou seja, considerou-se que a administração está inserida na gestão. De acordo com esse entendimento, a administração consiste na realização de tarefas operacionais, mas não menos importantes, enquanto a gestão refere-se à visão estratégica do processo. Dessa forma, as principais atribuições do facilitador são ilustradas na Figura 5.

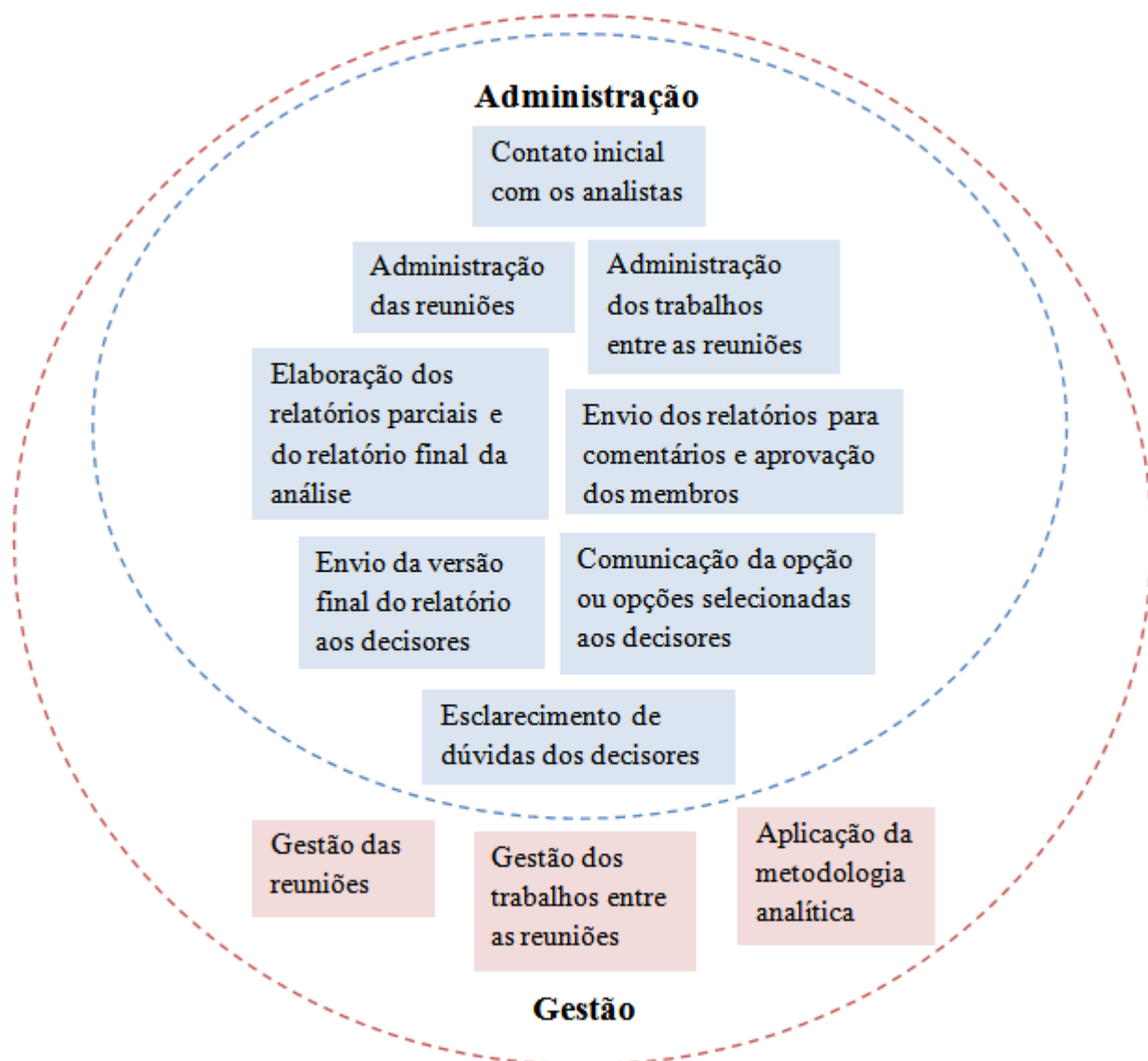


Figura 5 – Funções do facilitador no processo de tomada de decisão

A metodologia que será apresentada nos capítulos 3 e 4 foi desenvolvida para a aplicação na empresa estudada. Por esse motivo, considerou-se a utilização dos instrumentos e ferramentas disponíveis para os seus técnicos e gestores, assim como seus procedimentos administrativos próprios. No entanto, considera-se que os passos aqui propostos consistem em um guia prático para um processo de tomada de decisão estruturado, podendo ser facilmente adaptados à realidade de qualquer instituição. Como o principal instrumento para a realização da análise será a realização de reuniões, as tarefas previstas para a sua administração e para a sua gestão, que deverão ser desempenhadas pelo facilitador, são indicadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Tarefas envolvidas na administração e na gestão de reuniões

| <b>Administração de Reuniões</b>   |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intermediar a negociação do local, horário e duração das reuniões;</li> <li>• Reservar a sala;</li> <li>• Inserir a reunião no sistema informatizado e enviar o convite aos envolvidos;</li> <li>• Programar o transporte da equipe ao local e monitorar a realização do serviço;</li> <li>• Providenciar a liberação de acesso aos membros de outras bases e monitorar a entrada dos mesmos;</li> <li>• Lembrar os membros da empresa sobre os documentos de liberação de entrada e saída de materiais e equipamentos;</li> <li>• Providenciar os documentos de liberação de entrada e saída de materiais e equipamentos para os membros externos;</li> <li>• Verificar e monitorar as condições ambientais do local da reunião (temperatura, ventilação, iluminação);</li> <li>• Conduzir as reuniões de acordo com a programação;</li> <li>• Realizar todos os registros e anotações;</li> <li>• Sugerir regularmente a realização de intervalos;</li> <li>• Escrever a ata e submeter à aprovação dos membros;</li> <li>• Corrigir a ata de acordo com as considerações e enviar a versão final aos membros.</li> </ul> |
| <b>Gestão de Reuniões</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sugerir a pauta das reuniões e intermediar a negociação;</li> <li>• Definir a pauta;</li> <li>• Se necessário, intervir para que todos os envolvidos tenham a oportunidade de expressar as suas opiniões;</li> <li>• Se necessário, intervir para que todas as opiniões sejam igualmente consideradas;</li> <li>• Distribuir as tarefas de acordo com as habilidades, competências e disponibilidade dos membros.</li> </ul>  |

Além disso, observou-se, na empresa estudada, a existência de um código de conduta a ser seguido pelos trabalhadores durante a participação em reuniões, que define padrões de comportamento fundamentais para o bom andamento dos trabalhos. Entre os princípios citam-se a cordialidade, a pontualidade, o bom uso do tempo e a objetividade. Como a postura defendida pelo documento contribui para a aplicação da metodologia apresentada, sugere-se que o facilitador realize a sua leitura antes de cada encontro e que seja fixado um quadro com o seu conteúdo no local das reuniões. Apesar de se tratar de medidas simples e, em geral, conhecidas pelos trabalhadores, ao proceder dessa forma o facilitador chamará a atenção da equipe para o comportamento esperado dos analistas.

Outro ponto a ser considerado é o aspecto democrático da metodologia sugerida, onde as opiniões de todos os envolvidos possuem igual importância. Por isso, sugere-se que a indicação dos analistas envolvidos seja negociada entre os decisores e o facilitador, a fim de que não sejam selecionados somente empregados que possuem as mesmas opiniões dos gestores, o que resultaria na aplicação do MMAD para justificar uma solução pré-estabelecida. No entanto, ressalta-se que caso o facilitador seja um consultor que atua em outra gerência e que não possua envolvimento prévio com a questão estudada, na prática, ele apenas fornecerá aos decisores as orientações para a indicação dos analistas, devendo ser considerados pelo menos o conhecimento técnico e experiência relacionados ao tema e a disponibilidade para a realização dos trabalhos. Nesses casos, o instrumento contratual firmado entre os decisores e o facilitador deverá explicitar que a falta de imparcialidade na seleção dos analistas invalida o resultado da análise, como destacado na *Seção 3.3*.

Diante do exposto, recomenda-se que o facilitador seja uma pessoa neutra e que inspire confiança tanto nos tomadores de decisão quanto nos analistas envolvidos. Além disso, pela natureza das funções desempenhadas, ele deverá possuir facilidade na condução de trabalhos em equipe e na intermediação de conflitos. Para isso, a cordialidade e o estabelecimento de um bom relacionamento interpessoal na empresa são características fundamentais. Outras habilidades requeridas são o planejamento e a organização, além da facilidade em lidar com pressões, uma vez que os resultados das análises, muitas vezes, deverão ser apresentados em curto prazo. Caso seja necessário, potenciais facilitadores podem participar de cursos fornecidos pela empresa ou por instituições externas para o desenvolvimento das habilidades requeridas.

Quanto à operacionalização das etapas, sugere-se que seja explorado sentido da visão. Como o cérebro humano é predominantemente visual, essa é uma boa tática para que a criatividade do grupo seja estimulada. Assim, antes da realização das reuniões, o facilitador pode fixar mapas, gráficos e quadros nas paredes da sala, e para a realização das tarefas pode-se utilizar computador



com projetor, *flipchart* ou quadro para anotações, a fim de que todos os membros visualizem a evolução do trabalho.

Outro ponto a ser destacado é que na aplicação da metodologia os esforços da equipe devem ser direcionados na busca de resultados, e não na execução de tarefas. Dessa forma, apesar de os passos descritos consistirem em um guia para que seja tomada uma decisão acertada, durante o desenvolvimento da análise deve-se sempre manter o foco no alcance do objetivo. Assim, para a obtenção de uma melhor proposta, pode-se, inclusive, realizar alterações no método descrito para a aplicação em casos específicos. Nesse sentido, ressalta-se que como grande parte dos profissionais atuantes nas empresas está habituada a trabalhar para o cumprimento de tarefas, a implantação dessa forma de trabalho pode exigir certa habilidade do facilitador.

A seguir, detalha-se a aplicação dos seis passos iniciais propostos para o problema selecionado. Por se tratar de uma simulação, realizaram-se algumas simplificações, que serão explicadas nas próximas seções, simultaneamente à apresentação da metodologia sugerida para casos reais. Os passos finais da metodologia proposta serão analisados no próximo capítulo. Destaca-se, por fim, que apesar de consistir em uma situação hipotética, o presente estudo foi desenvolvido em uma empresa real, que terá a sua identidade preservada para que seja garantido o sigilo de informações empresariais.

### *3.2 Etapa 1: Definição dos metacritérios para a análise*

Ao aplicar MMAD na elaboração de política pública, Renn (1986) propôs a utilização de metacritérios, que consistem em princípios pré-estabelecidos que devem ser atendidos por todas as alternativas avaliadas, independentemente das opiniões dos decisores ou dos analistas<sup>12</sup>. Assim, uma alternativa que não atenda aos metacritérios não poderá ser selecionada para a análise, e caso esse não atendimento seja constatado ao longo do processo, a opção deverá ser excluída das possibilidades. Portanto, com a definição dos metacritérios, busca-se garantir que certas diretrizes e objetivos institucionais sejam obedecidos, independentemente do posicionamento dos envolvidos.

Para o estabelecimento de metacritérios para empresas sugere-se que seja considerado o Plano de Negócios ou Plano Estratégico da companhia, e, quando aplicável, do setor ou gerência

---

<sup>12</sup> Para maiores detalhes sobre os metacritérios, consultar o item Metodologia proposta por Renn (1986) na *Seção 2.3*.

envolvida, uma vez que esses documentos estabelecem preceitos fundamentais para a sua atuação. Assim sendo, os metacritérios propostos para o presente estudo de caso são:

- 1) Racionalização na utilização dos recursos da companhia para que se atenda à meta de aumento da produção (princípio da instituição);
- 2) Atendimento das necessidades do cliente (princípio da gerência envolvida, cuja atividade principal é prestar consultoria a outros setores);
- 3) Atuação com responsabilidade social e ambiental.

O primeiro metacritério consiste em uma diretriz a ser seguida por qualquer instituição, pelo menos em teoria. No entanto, optou-se por destacá-lo devido ao momento da empresa, em que a alta direção tem enfatizado, com frequência, a meta de aumento de produção e a importância da racionalização dos gastos em todas as áreas para que esse compromisso seja cumprido.

O segundo metacritério relaciona-se à gerência estudada, que é responsável pela prestação de consultoria aos demais setores da empresa. Por esse motivo, os técnicos e gestores da área devem priorizar o atendimento das necessidades do cliente. Nesse sentido, observou-se que o Plano de Negócios da gerência atendida, assim como os planos das demais áreas, encontra-se alinhado com o plano da companhia, e, portanto, eles também priorizam a racionalização na utilização dos recursos para o atendimento das metas de produção.

Considerou-se, por fim, a necessidade de atuação com responsabilidade social e ambiental no caso estudado, uma vez que esse critério foi destacado no Plano Estratégico da companhia.

### *3.3 Etapa 2: Estabelecimento do contrato entre os tomadores de decisão e o facilitador*

Antes do início do MMAD é fundamental que os tomadores de decisão, que são os maiores interessados na análise, e o facilitador, que será o responsável pela sua operacionalização, estabeleçam um contrato entre as partes. A empresa estudada possui ferramenta interna de gestão própria para essa finalidade, que deve ser utilizada caso a análise seja realizada através de uma consultoria prestada por trabalhador de outra gerência, que desempenhará o papel do facilitador. Nesse instrumento devem constar:

- 1) Os metacritérios que deverão ser atendidos pela alternativa selecionada, os quais, nesse estudo, foram definidos na seção anterior;
- 2) Quem serão os analistas envolvidos, bem como os seus suplentes;
- 3) Os produtos da análise, que consistem nos resultados das etapas sugeridas na *Seção 3.1*;
- 4) A necessidade de aprovação da definição objetiva do problema (Etapa 3) pelos tomadores de decisão, assim como a possibilidade de eles participarem da realização dessa etapa, se assim desejarem;
- 5) Os recursos que os tomadores de decisão fornecerão ao facilitador ou à sua gerência, que podem ser financeiros, materiais e/ou humanos;
- 6) Os prazos para a entrega dos relatórios parciais e do relatório final, os quais apresentarão os resultados das etapas desenvolvidas;
- 7) A necessidade de o facilitador comunicar os decisores, com a maior brevidade possível, sobre eventuais alterações na metodologia proposta, a fim de que eles possam avaliar, em conjunto, os efeitos sobre o resultado da análise;
- 8) Outras condições que possam ser necessárias para o desenvolvimento do MMAD;
- 9) As consequências do não atendimento das cláusulas contratuais.

Para que a análise forneça o melhor resultado possível, recomenda-se que os analistas designados participem integralmente do desenvolvimento dos trabalhos. No entanto, entende-se que isso nem sempre será viável devido a outras demandas, ao afastamento dos trabalhadores das suas atividades ou mesmo a interesses políticos, e, por isso, recomenda-se a indicação de suplentes. Nesse sentido, ressalta-se a importância do planejamento de recursos humanos da empresa, a fim de minimizar a rotatividade dos envolvidos nos trabalhos. Destaca-se, também, a necessidade da gestão de informações, para que eventuais alterações de analistas não prejudique o estudo. Além disso, dependendo do número de envolvidos e do tema tratado, pode ser necessária a indicação de assessores para o facilitador e/ou de especialista técnico. Ainda quanto à necessidade de recursos humanos, apesar de Belton e Stewart (2002) defenderem que o facilitador deve ser o responsável pela gestão do processo, o que inclui a aplicação da metodologia analítica de agregação, defende-se a

possibilidade de realização dessa etapa por especialista, com a participação do facilitador, caso não haja uma pessoa com as habilidades requeridas disponível.

Quanto ao instrumento contratual em si, deve estar claro que o objetivo do processo não é a tomada de decisão, mas a estruturação da análise para a apresentação das alternativas mais vantajosas ao gestor. Dessa forma, entende-se que a aplicação do MMAD não exime os decisores da sua responsabilidade e nem garante que não serão cometidos erros, mas fornece ao gestor os meios para que ele tome uma decisão eficiente<sup>13</sup> e que poderá ser defendida, se necessário. Por essa razão, o contrato deve registrar a necessidade do envolvimento de pessoas chave, bem como as consequências da sua não participação para o resultado da análise, e, portanto, para a tomada de decisão. Esse aspecto é fundamental para a indicação dos analistas, pois nos casos em que ela for realizada por apenas um decisor orientado por um consultor externo, evita-se a não indicação de técnicos por divergências de opiniões, e conseqüentemente, a utilização do MMAD apenas como forma de justificar uma decisão já tomada.

Por outro lado, o facilitador deve reportar aos decisores as dificuldades encontradas durante o processo e as necessidades de alteração na estratégia assim que possível, a fim de que as mudanças necessárias possam ser negociadas e acordadas. Dessa forma, o diálogo entre as partes será constante, e com o seu envolvimento nos trabalhos, os decisores conhecerão as dificuldades e restrições da análise, o que evita expectativas irreais a respeito dos seus resultados. É possível, inclusive, que os gestores desempenhem o papel de analistas. No entanto, destaca-se que essa situação precisará ser avaliada e gerenciada pelo facilitador, pois a presença dos decisores poderá inibir a participação dos outros membros do grupo devido às relações hierárquicas estabelecidas na instituição.

Destaca-se, por fim, que o registro de todos esses aspectos é fundamental para o sucesso análise, mas os envolvidos podem negociar a alteração das condições estabelecidas se as circunstâncias assim exigirem. Dessa maneira, a vantagem do instrumento contratual consiste na clareza de comunicação e de entendimento entre as partes. Ainda, em casos de menor complexidade, onde o facilitador atua na própria gerência requisitante da análise, o registro do acordo pode ser realizado por meio de correios eletrônicos, de forma a evitar a burocratização dos procedimentos.

---

<sup>13</sup> Entende-se como decisão eficiente aquela que atende o objetivo proposto com o menor custo, considerando-se os custos econômico, social e ambiental.

### *3.4 Etapa 3: Definição objetiva do problema*

Na empresa estudada, quando surge alguma questão técnica que precisa ser avaliada, normalmente é estabelecido um grupo de trabalho, que consiste em uma força-tarefa composta por técnicos incumbidos de estudar o problema e propor soluções em um período de tempo relativamente curto. De acordo com o modelo estabelecido e com a complexidade das questões normalmente analisadas, sugere-se que as etapas 3, 4 e 5 dos MMAD realizados sejam desenvolvidas no primeiro encontro do grupo de trabalho formado. No entanto, se necessário, podem ser realizados mais encontros para o desenvolvimento das atividades propostas.

A empresa possui um sistema informatizado para a marcação e acompanhamento de reuniões, o qual permite que sejam anexados documentos, como pautas, atas e material sobre o tema tratado. O sistema facilita a organização dos membros, disponibilizando agendas com as reuniões das quais eles devem participar, além de outras informações, como o solicitante do encontro, o local, a pauta e demais convidados. Tal aplicativo deve ser utilizado durante o trabalho, contudo, ressalta-se que, antes do convite para a reunião de abertura, que é enviado automaticamente para o e-mail corporativo dos trabalhadores, o facilitador deve estabelecer um contato inicial com os envolvidos a fim de explicar a necessidade do trabalho e a importância da participação do membro, ressaltando os pontos onde ele poderá contribuir.

Nesse contato inicial, realizado pelo facilitador antes do agendamento da reunião, devem ser fornecidas informações preliminares aos envolvidos, a fim de que eles possam refletir sobre o problema. Se o facilitador já dispuser de material sobre o assunto, o mesmo pode ser encaminhado aos participantes no convite para o encontro inicial. No entanto, ressalta-se que, nessa fase, deve-se evitar o envio de estudos detalhados, pois se os analistas possuírem mais informações a respeito de uma alternativa, ela poderá ser privilegiada, e, por isso, deve-se estimular apenas que eles possuam uma visão geral da situação.

Na primeira reunião o facilitador deve definir o problema estudado de forma clara e certificar-se de que todos entenderam o objetivo do trabalho (Etapa 3). Em casos de maior complexidade, onde a questão não está clara, os analistas poderão auxiliá-lo nessa tarefa. Por se tratar de uma etapa fundamental para toda a análise, os decisores poderão estar presentes, mas sugere-se que eles deixem o local para o desenvolvimento das fases seguintes. O facilitador deve, nesse contato inicial com a equipe, deixar os colegas à vontade para manifestarem as suas dúvidas e

dificuldades durante os encontros ou em conversas informais, se assim preferirem. É fundamental que seja construído, desde o início das atividades, um clima de confiança e cooperação entre os envolvidos, a fim de que a realização do trabalho seja agradável e os técnicos se disponibilizam voluntariamente para a participação em outras análises.

O problema definido pelo grupo deverá, então, ser registrado pelo facilitador, que será o responsável por todas as tarefas administrativas, como a elaboração de atas de reuniões ou a realização de anotações. Os analistas e tomadores de decisão, como sugerido por Belton e Stewart (2002), não devem se preocupar com esses aspectos para que a sua capacidade criativa seja explorada ao máximo. Por isso, dependendo do número de envolvidos e da complexidade do problema, o facilitador poderá ser auxiliado por um ou mais assessores. O Quadro 3 apresenta o resultado da etapa 3 para o problema abordado.

**Definição objetiva do problema**

O problema ilustrado consiste na proposição de alternativas para a disponibilização de água para o abastecimento de uma plataforma marítima de produção de óleo e gás. Esse recurso, em uma unidade industrial desse tipo, possui os seguintes usos:

- Consumo dos trabalhadores (ingestão direta, preparo de alimentos, banho e higiene pessoal);
- Lavagem de roupas;
- Higienização das instalações;
- Refrigeração de bombas;
- Utilização no sistema de climatização;
- Utilização no processo industrial.

Usualmente, a água ingerida diretamente pelos empregados é proveniente de galões de água mineral transportados por rebocadores<sup>14</sup>. Portanto, o problema estudado consiste no suprimento de água doce para as demais finalidades.

Grande parte da questão decorre em virtude da elevada demanda de água na exploração de petróleo. Isso porque, à medida em que a produção se desenvolve e o campo amadurece, a pressão em seu interior é reduzida, o que dificulta a saída do óleo e do gás. A fim de aumentar a pressão e viabilizar a produção realiza-se a injeção de água no interior dos reservatórios.

Tendo em vista a questão abordada, os piores cenários que poderiam ser enfrentados referem-se ao atraso da entrada em operação e à paralisação da unidade devido à falta de água, já que cada plataforma parada possui um custo estimado de centenas de milhares de dólares por dia.

---

<sup>14</sup> Rebocadores consistem em embarcações de pequeno porte utilizadas para o transporte de água, outros suprimentos e materiais e equipamentos utilizados na produção.

### 3.5 Etapa 4: Seleção dos critérios considerados para a avaliação das alternativas

Após a definição do problema o facilitador deverá apresentar, de forma breve, a metodologia a ser empregada no MMAD ao grupo. Ele poderá, então, expor os metacritérios da análise à equipe. Para a determinação dos outros aspectos para a avaliação das alternativas propõe-se a utilização da técnica Análise de Árvore de Valor, proposta por Renn (1986), que foi detalhada na *Seção 2.3*. Para isso, o facilitador deve dividir o grupo de analistas em grupos para que várias Árvores de Valor sejam desenvolvidas. O próximo passo consiste na negociação para a construção da Árvore de Valor Combinada, que deve ser desenvolvida graficamente em local visível a todos os membros da equipe. A fim de facilitar o consenso, o facilitador pode explicar que, posteriormente, o grupo poderá atribuir peso zero aos critérios selecionados, de forma a eliminá-los da análise.

No presente estudo de caso, diante da impossibilidade de aplicação dessa metodologia, os critérios selecionados, que são apresentados no Quadro 4, foram definidos através de conversas com técnicos e tomadores de decisão da empresa e da análise do material disponibilizado. Os dois primeiros critérios (disponibilidade quantitativa e qualitativa de água) têm por objetivo garantir a resolução do problema, enquanto a análise do custo das alternativas busca a racionalização dos recursos da companhia.

Quadro 4 – Apresentação da Etapa 4: Seleção dos critérios considerados para a avaliação das alternativas

| <b>Seleção dos critérios considerados para a avaliação das alternativas</b>  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Disponibilidade quantitativa de água;</li><li>• Disponibilidade qualitativa de água;</li><li>• Custo das alternativas.</li></ul> |



### 3.6 Etapa 5: Geração de possíveis alternativas para a solução do problema

No desenvolvimento da etapa 5 os participantes devem avaliar, preliminarmente, o potencial das opções em solucionar o problema, de forma a eliminar soluções que visivelmente não atendam ao objetivo proposto, como ressaltado pelos metacritérios. No caso estudado as alternativas foram identificadas por meio da análise do material disponibilizado e de conversas com técnicos da empresa. As opções selecionadas são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Apresentação da Etapa 6: Geração de possíveis alternativas para a solução do problema

| <b>Geração de possíveis alternativas para a solução do problema</b>   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Alternativa 1: Implantação de sistema para dessalinização de água do mar na unidade marítima;</li><li>• Alternativa 2: Utilização da água produzida por uma Estação de Tratamento de Água (ETA) da empresa, com a modernização do sistema existente;</li><li>• Alternativa 3: Recebimento de água da companhia de saneamento da região;</li><li>• Alternativa 4: Captação e tratamento de água subterrânea.</li></ul> |

Para melhorar o resultado da análise, propõe-se que o facilitador estimule os analistas a trabalhar entre os encontros, como sugerido por Belton e Stewart (2002). Para isso, ele pode incentivá-los a refletir sobre os resultados das etapas desenvolvidas por meio de perguntas realizadas no final das reuniões. Para a metodologia sugerida propõem-se as seguintes questões: 1) O problema foi definido adequadamente? 2) Os critérios selecionados para a avaliação das alternativas conduzem a uma tomada de decisão eficiente? 3) Nesse sentido, há critérios que deveriam ser suprimidos ou adicionados? 4) As opções propostas resolveriam o problema, ou consistem em medidas paliativas? 5) Existem alternativas potenciais que não foram identificadas pelo grupo?

Após a realização dos questionamentos o facilitador poderá apresentar os resultados das etapas realizadas, a fim de que os analistas realizem as suas considerações e o resultado do trabalho seja melhorado. No entanto, deverá ser estipulado, na pauta da reunião, o tempo para essa atividade, para que ela não prejudique o atendimento do prazo para a realização da análise. Quando questões polêmicas estiverem envolvidas a definição de possíveis alterações nos resultados das etapas será realizada pelo facilitador, que deverá tomar a decisão final de forma imparcial.

Deverá, então, ser iniciada a etapa 6, que consiste no estudo das alternativas com base nos critérios definidos. Para o início dessa tarefa, o facilitador deverá ter organizado previamente o material sobre o tema disponível na gerência ou na empresa, caso exista. É importante que essas informações sejam fornecidas ao grupo apenas nesse momento para evitar posicionamentos tendenciosos nas etapas anteriores. Isso porque, se um dos técnicos preferir uma alternativa às demais, ele pode tentar fazer com que um critério de acordo com o qual essa opção não possui um resultado satisfatório não seja considerado na análise. Essa ação poderá, inclusive, ser não intencional; muitas vezes o analista nem perceberá que estará privilegiando a sua alternativa favorita. Sugere-se, no entanto, que não haja preocupação quanto ao conhecimento prévio e possíveis tendências dos participantes, uma vez que esse é um fator difícil de controlar, e certo grau de conhecimento técnico a respeito do tema pode melhorar o resultado da análise.

No início da etapa 7 o facilitador deverá expor novamente ao grupo os critérios que serão utilizados para a avaliação das opções, assim como as alternativas geradas. Ele poderá, então, realizar uma breve descrição do material organizado, a fim de auxiliar os analistas. Sugere-se que os documentos sejam encaminhados à equipe com a ata de reunião para que o seu conteúdo possa ser estudado. Após a descrição, o facilitador apresentará o mapeamento das informações que deverão ser obtidas em levantamentos bibliográficos, entrevistas, visitas de campo e outros meios. Os analistas poderão auxiliá-lo na definição da estratégia adotada. Então, as tarefas serão distribuídas entre os membros da equipe de acordo com o conhecimento técnico, experiência e disponibilidade de cada participante, e os prazos para a entrega serão estipulados em conjunto, levando-se em conta a data prevista para a apresentação do resultado final da análise. O desenvolvimento da etapa 6 terá como resultado um relatório, organizado pelo facilitador, que conterá informações que auxiliarão os analistas na avaliação das alternativas.

## Capítulo 4 – MMAD, Abastecimento de Água e Exploração de Petróleo: Alternativas Analisadas

Apresentam-se, a seguir, as etapas analíticas finais do caso estudado.

### 4.1 Etapa 6: Estudo das alternativas com base nos critérios definidos

#### 4.1.1 Alternativa 1: Implantação de sistema para dessalinização de água do mar na unidade marítima

##### Critério: Disponibilidade quantitativa de água

As tecnologias de dessalinização foram desenvolvidas com a finalidade de aumentar a autonomia dos navios (LARANJEIRA, 2010). Com a captação da água do mar e o tratamento a bordo para consumo, as tripulações passaram a realizar trajetos mais longos, sem a necessidade de buscar água na costa ou de serem abastecidas por embarcações auxiliares.

Dado o volume de água fornecido pelo mar a disponibilidade quantitativa de água não será uma restrição enfrentada caso essa alternativa seja adotada. Além disso, como a unidade marítima de produção estará situada a mais de 100 km da costa não haverá conflito com outros usuários.

Outra vantagem dessa alternativa é que, pelos motivos citados, provavelmente não seria necessária a obtenção de outorga para a captação de água<sup>15</sup>. Essa hipótese é reforçada pela vazão reduzida de captação, pela não interferência no regime hídrico do mar e por informação disponibilizada no *site* da Agência Nacional de Águas<sup>16</sup>, de acordo com a qual estão sujeitos à outorga os seguintes usos:

- Derivação/captação de água ou lançamento de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, em rios, lagos ou açudes;
- Extração de água subterrânea;
- Outros usos que alterem o regime de vazões, a quantidade ou a qualidade do corpo hídrico, tais como: barramentos, desvios, canalizações, atividades aquícolas, etc.

---

<sup>15</sup> A outorga para a captação de recursos hídricos é um instrumento estabelecido pela Política Nacional de Recursos Hídricos através do qual o órgão ambiental autoriza a captação de um volume de água estabelecido por um período determinado. O instrumento possui como objetivos o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (BRASIL, 1997).

<sup>16</sup> Informação obtida em <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/FolderOutorga.pdf>>, em 26 jan. 2014.

### Critério: Disponibilidade qualitativa de água

As unidades marítimas de produção instaladas na região estudada situam-se a distâncias superiores a 100 km da costa, de acordo com a localização dos campos de petróleo. Por isso, não são afetadas pela contaminação antrópica despejada nas águas do mar. Isso ocorre devido à distância dos pontos do lançamento e à hidrodinâmica do oceano, que propiciam a dispersão dos poluentes antes do ponto de captação de água nas unidades marítimas. No entanto, já foi relatado em documento da empresa que a alta salinidade consiste em uma dificuldade para a adoção dessa alternativa. Tal característica natural da água exige a aplicação de tecnologias com maior eficiência técnica, aumentando, portanto, o custo do tratamento.

De acordo com Lermontov *et al.* (2011), a salinidade da água do mar não é constante, e observam-se, ao redor do mundo, variações na faixa de 10.000 a 45.000 mg/L. Os autores explicam que os valores mais baixos ocorrem, geralmente, em locais com elevados índices de precipitação pluviométrica ou nas proximidades da foz de rios, enquanto as maiores concentrações ocorrem em locais quentes, onde a evaporação da água do mar é intensa. Os pesquisadores explicam ainda que na região estudada existem três massas de água atuantes no mar, que possuem origens e composições químicas diferenciadas e atingem profundidades distintas. O trabalho defende que o fator determinante da prevalência de uma ou de outra é o regime de ventos, e, de acordo com a corrente dominante, ocorrem variações na temperatura da água, na disponibilidade de nutrientes e na concentração de sais.

Para finalizar a análise da alternativa quanto à qualidade da água captada, apresenta-se, na Tabela 1, uma comparação entre a composição da salinidade da água captada de rios, que consistem na tipologia de fonte mais utilizada para a obtenção desse recurso, e a água captada do mar, fonte ainda pouco empregada. De acordo com os dados apresentados, não se observou a presença de nitrato na água do mar, o que é um indicativo de que essa fonte é menos afetada pela poluição antrópica (despejo de efluentes domésticos sem tratamento, utilização de fertilizantes, contaminação devido ao chorume resultante da decomposição de resíduos sólidos), como mencionado anteriormente.

Tabela 1 – Diferença na composição da salinidade da água de rios e da água do mar (Alternativa 1)

| Íons                                       | Água de rio (%) | Água do mar (%) |
|--|-----------------|-----------------|
| Cloreto, Cl <sup>-</sup>                   | 8,6             | 55              |
| Sódio, Na <sup>+</sup>                     | 6,9             | 30,6            |
| Sulfato, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>     | 12,4            | 7,6             |
| Magnésio, Mg <sup>2+</sup>                 | 4,6             | 3,7             |
| Cálcio, Ca <sup>2+</sup>                   | 16,6            | 1,2             |
| Potássio, K <sup>+</sup>                   | 2,6             | 1,1             |
| Bicarbonato, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 31,9            | 0,4             |
| Brometo, Br <sup>-</sup>                   | -               | 0,2             |
| Borato, BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>      | -               | 0,08            |
| Estrôncio, Sr <sup>2+</sup>                | -               | 0,04            |
| Fluoreto, F <sup>-</sup>                   | -               | 0,003           |
| Sílica, SiO <sub>2</sub>                   | 14,6            | -               |
| Ferro, Fe <sup>2+</sup>                    | 0,7             | -               |
| Nitrato, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      | 1,1             | -               |

Fonte: Lermontov *et al.* (2011)

#### Critério: Custo da alternativa

Os custos para a dessalinização de água dependem de vários fatores, entre os quais se destacam (KARAGIANNIS e SOLDATOS, 2008 em LARANJEIRA, 2010):

- A técnica escolhida;
- A concentração de sais na água bruta;
- A fonte de energia do sistema;
- A capacidade de produção de água da planta;
- Outros fatores relacionados com as condições locais.

De acordo com Laranjeira (2010) e com Lermontov *et al.* (2011) os processos para a dessalinização da água do mar podem ser térmicos ou por membrana. Nesse trabalho optou-se pela análise da Osmose Inversa (OI), que se enquadra na segunda categoria, tendo em vista a menor

demanda de área dos sistemas, o que é particularmente importante em plataformas marítimas de produção de óleo e gás. Outras vantagens da utilização da OI são a maior rapidez e simplicidade para a implantação das plantas e os menores custos envolvidos, principalmente devido ao desenvolvimento da tecnologia de membranas e ao menor consumo energético (KARAGIANNIS e SOLDATOS, 2008 em LARANJEIRA, 2010).

Nesse método utiliza-se energia principalmente para a introdução da água a ser tratada com a pressão necessária. De acordo com Laranjeira (2010), no processo forma-se uma solução concentrada de sais, que não consegue atravessar a membrana e pode ter sua energia recuperada antes de ser descartada. Lermontov *et al.* (2011) fazem as seguintes considerações sobre os investimentos a serem realizados nessa etapa do tratamento:

- O custo do bombeamento da água do mar corresponde de 20 a 30% do custo para a produção de água potável;
- O custo para a captação e descarte adequado da solução salina é de 10 a 30% do investimento no sistema, mas se ocorrer a recuperação energética esse montante pode reduzir significativamente;
- Geralmente são consumidos 3,5 kWh por m<sup>3</sup> de água dessalinizada, mas plantas de OI que operam com 50% de recuperação energética demandam de 2,2 a 2,7 kWh por m<sup>3</sup> de água.

Entre os problemas operacionais normalmente encontrados, destaca-se a sedimentação do material presente na água do mar, que pode causar incrustações na superfície das membranas e afetar a quantidade e a qualidade da água tratada. Outras dificuldades recorrentes são a corrosão de materiais e equipamentos, a proliferação de microorganismos e a formação de espuma. A fim de evitar essas ocorrências é realizado o pré-tratamento da água do mar. Como as etapas desse processo dependem diretamente da qualidade da água captada, normalmente realiza-se um projeto piloto para o dimensionamento do sistema (LERMONTOV *et al.*, 2011).

Os pré-tratamentos convencionais utilizam a coagulação, a floculação, a sedimentação e a filtração. No entanto, o processo pode ser aprimorado com a inclusão da microfiltração (MF) ou da ultrafiltração (UF), que envolvem equipamentos mais caros que os filtros convencionais, necessitam de mais energia, mas proporcionam maior estabilidade à água fornecida para a etapa de OI. Lermontov *et al.* (2011) explicam que os filtros empregados para MF e UF demandam a utilização de peneiras finas, o que eleva o consumo de água nas lavagens periódicas para 5 a 10% água tratada

pelo sistema. No entanto, o emprego dessas tecnologias no pré-tratamento reduz a troca de componentes do dessalinizador e a necessidade de limpeza. De acordo com os pesquisadores, o período estimado para a reposição das membranas do dessalinizador é de 5 a 7 anos, mas com a utilização dessas técnicas a vida útil desses materiais é prolongada. O trabalho destaca, ainda, que outra vantagem dessas tecnologias é que elas demandam 50% a menos de área que o pré-tratamento convencional.

Os itens de custo identificados na literatura para sistemas de dessalinização com a tecnologia de OI são apresentados no Quadro 6. Lermontov *et al.* (2011) simularam, através de modelagem computacional, sistemas com capacidade de tratamento entre 1.800 e 18.000 m<sup>3</sup>/h. Apesar de as vazões consideradas serem significativamente superiores à vazão de consumo da plataforma (4,17 m<sup>3</sup>/h), a comparação do trabalho com outras publicações facilita a estimativa dos custos com a dessalinização de água do mar para o presente estudo de caso. Os pesquisadores consideraram o emprego da MF e da UF para o pré-tratamento da água do mar, o que é favorável para essa análise, devido à menor demanda de área dessas tecnologias.

Os autores dividiram os custos em investimento e operação e manutenção. Os custos de investimento e aquisição de terreno situaram-se entre cerca de R\$ 100,5 milhões e 1,2 bilhão e foram diretamente proporcionais às capacidades dos sistemas instalados; já os custos operacionais para a produção de água potável variaram entre R\$ 1,67 e 1,75/m<sup>3</sup>, não se observando uma relação de proporcionalidade. A primeira categoria de custos englobou a amortização<sup>17</sup>, que se situou na faixa de 5 a 10% do capital investido; e o seguro, que correspondeu a 0,5% do capital. Quanto à segunda categoria de custos, os pesquisadores concluíram que os gastos com energia e reposição de membranas do dessalinizador foram responsáveis por quase todo o custo operacional. De acordo com o trabalho, o investimento de giro, que consiste no montante de recursos necessários para a operação do sistema, pode ser estimado em 15% do investimento total.

---

<sup>17</sup> A amortização pode ser entendida, nesse caso, como a depreciação dos bens adquiridos.

Quadro 6 – Itens de custo de sistemas de dessalinização (Alternativa 1)

| <b>Fonte de Consulta</b>   |  |
|--|--|
| Lermontov <i>et al.</i> (2011)   | Campos e Pinheiro (2005)   |
| <b>Investimento</b>  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquisição do terreno</li> <li>• Captação de água</li> <li>• Bombas</li> <li>• Projeto e pessoal</li> <li>• Tubulações</li> <li>• Vasos de pressão</li> <li>• Instalação e serviços</li> <li>• Membranas</li> <li>• Construção civil</li> <li>• Equipamentos e materiais</li> <li>• Jurídico e pessoal</li> <li>• Pré-tratamento da água</li> <li>• Amortização</li> <li>• Seguro</li> </ul> | <b>Componente do sistema</b>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abrigo</li> <li>• Muro</li> <li>• Rede elétrica</li> <li>• Sistema de captação</li> <li>• Adutora para o transporte da água do mar</li> <li>• Dessalinizador</li> </ul> |
|  | <b>Item de custo de cada componente</b>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Serviços preliminares</li> <li>• Tubos e conexões</li> <li>• Obras civis</li> <li>• Equipamentos</li> <li>• Serviços</li> </ul>   |
|  | <b>Outros Custos</b>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Depreciação do capital</li> <li>• Juros sobre o capital</li> </ul>  |
| <b>Operação e Manutenção</b>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energia</li> <li>• Pessoal</li> <li>• Reposição de membranas</li> <li>• Demais custos operacionais</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mão-de-obra permanente</li> <li>• Peças de reposição anuais</li> <li>• Energia</li> <li>• Produtos químicos</li> <li>• Material de limpeza</li> </ul>                   |

Fonte: Adaptado de Lermontov *et al.* (2011) e Campos e Pinheiro (2005)

Destaca-se que, no presente estudo de caso, não será necessária a aquisição do terreno, mas a área ocupada pela planta de tratamento na unidade marítima talvez seja o item de maior custo do sistema, tendo em vista a pouca disponibilidade de espaço e a necessidade de área para os trabalhadores e materiais e equipamentos utilizados diretamente no processo produtivo. Esse custo não pôde ser estimado devido à impossibilidade de obtenção dos dados necessários, mas a indisponibilidade dessa informação foi levada em consideração na avaliação da alternativa quanto a esse critério.

Campos e Pinheiro (2005), por sua vez, avaliam os custos da dessalinização em plantas com capacidades de produção entre 400 a 1.800 L/h, que são valores inferiores à demanda de água do



presente estudo de caso (4.170 L/h), mas não tão discrepantes. O investimento para a implantação do sistema variou de R\$ 20.616,04 a R\$ 32.856,84, sendo que a maior parcela desse custo foi empregada no equipamento dessalinizador. Os pesquisadores diluíram o investimento total ao longo de um fluxo de caixa de 20 anos com a utilização da taxa de desconto de 12% ano, de acordo com as recomendações do BIRD<sup>18</sup> para projetos dessa natureza. Considerou-se a depreciação de 10% para cada componente do sistema de dessalinização citado no Quadro 6. Com a inclusão dos custos de operação e manutenção, obtiveram-se os custos totais de R\$ 5,31 a 2,13/m<sup>3</sup> de água tratada, os quais foram decrescentes com o aumento da capacidade dos sistemas. Destaca-se que os autores não consideraram o pré-tratamento da água no mar na composição de custos apresentada no trabalho.

Destaca-se que tanto os resultados obtidos por Lermontov *et al.* (2011) como os fornecidos por Campos e Pinheiro (2005) encontram-se na faixa apresentada por Laranjeira (2010) para a dessalinização de água do mar com a utilização de fontes convencionais de energia (combustíveis fósseis). A Tabela 2 apresenta os custos de dessalinização de acordo com a fonte energética empregada<sup>19</sup>. Segundo Baalousha (2006) em Laranjeira (2010), os gastos com energia variam de 30 a 50% do custo de dessalinização, de acordo com a fonte empregada, e os combustíveis fósseis consistem na tipologia mais vantajosa sob o ponto de vista financeiro. Caso a empresa opte pela utilização de energia renovável o custo para a dessalinização da água será maior, já que as técnicas desenvolvidas demandam quantidades elevadas de energia e os custos para utilização dessas fontes ainda são altos. De acordo com Laranjeira (2010), ao optar-se pela utilização de energia renovável os gastos com dessalinização podem chegar a 48 R\$/m<sup>3</sup> de água. Contudo, na presente análise será considerado o emprego dessas fontes, já que de acordo com o último metacritério proposto para esse estudo a empresa deve atuar com responsabilidade ambiental. Dessa forma, na análise considerou-se o maior valor unitário apresentado pelo estudo para a produção de água por dessalinizador (Tabela 2), o que forneceu o valor de R\$ 5.188.147,20 para o horizonte temporal de cinco anos (Tabela 3).

---

<sup>18</sup> Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento.

<sup>19</sup> Para a apresentação dos custos da tabela em reais, o euro foi convertido de acordo com a taxa de câmbio de 28 de dezembro de 2013, quando um euro equivalia a R\$ 3,20.

Tabela 2 – Custos de produção de água dessalinizada de acordo com a fonte de energia (Alternativa 1)

| <b>Fonte de energia</b> | <b>Custo em R\$/m<sup>3</sup></b> |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Convencional            | 1,12 a 8,64                       |
| Vento                   | 3,20 a 16,00                      |
| Fotovoltaica            | 10,05 a 28,80                     |
| Painéis solares         | 11,20 a 28,60                     |

Fonte: Baseado em Karagiannis e Soldatos (2008) em Laranjeira (2010)

Tabela 3 – Estimativa do custo da utilização de dessalinizador (Alternativa 1)

|  |                          |
|--|--------------------------|
| <b>Custo unitário adotado (Tabela 2)</b> | R\$ 28,60/m <sup>3</sup> |
| <b>Custo da alternativa</b>              | R\$ 5.188.147,20         |

Ressalta-se que com a crescente demanda por água potável e com a escassez desse recurso estão sendo desenvolvidas novas tecnologias para a redução dos custos para a dessalinização de água. As principais iniciativas buscam a redução do consumo energético dos sistemas, uma vez que o custo com energia pode atingir 50% do custo total de dessalinização (BAALOUSHA, 2006 em LARANJEIRA, 2010). No entanto, apesar dos esforços, os custos envolvidos nos processos ainda permanecem elevados.

Destaca-se, por fim, que o desempenho de um sistema de OI é determinado, em grande parte, pelos seguintes fatores: a) pré-tratamento da água do mar; b) escolha e disposição das etapas do tratamento; e c) limpeza das estruturas do sistema. Portanto, os sistemas de dessalinização da água em mar aberto são particularmente vulneráveis, uma vez que há abundância de água a ser tratada e normalmente observam-se a simplificação do pré-tratamento e deficiências na manutenção (RAUTENBACH *et al.*, 1997 em LARANJEIRA, 2010). Por isso, particularmente no presente estudo de caso, onde a planta será operada em local com baixa disponibilidade de espaço físico e de pessoal especializado para a sua operação, a atenção deve ser constante.

#### 4.1.2 Alternativa 2: Utilização da água produzida por ETA<sup>20</sup> da empresa

##### Critério: Disponibilidade quantitativa de água

As águas do rio utilizado pela empresa para captação possuem usos múltiplos, destacando-se, entre os usos consuntivos<sup>21</sup>:

- Abastecimento público;
- Agricultura;
- Criação de animais;
- Abastecimento industrial.

A seguir, serão apresentadas as estimativas das vazões captadas para cada um desses usos, o consumo por setor e dados sobre a hidrografia do rio, a fim de que se possa avaliar a disponibilidade quantitativa de água dessa alternativa.

##### ✓ Abastecimento Público

Constatou-se a existência, na bacia hidrográfica, de treze pontos de captação em águas superficiais para abastecimento público, dos quais dois situam-se no rio utilizado pela empresa (Tabela 4 ). Assim, para que uma população de 160.483 habitantes seja atendida, a vazão total de captação é de 5.594,37 m<sup>3</sup>/h.

##### ✓ Agricultura

Como não existem usuários cadastrados para fins de irrigação, para a estimativa do consumo relacionado a esse uso, Pinheiro (2008) utilizou os dados disponibilizados pelo Projeto Planágua (SEMADS; GTZ -2001), que considerou uma área irrigada de 1.105 ha correspondente a uma vazão demandada de 1.297,92 m<sup>3</sup> /h.

---

<sup>20</sup> Estação de Tratamento de Água.

<sup>21</sup> Usos consuntivos são caracterizados pelo consumo quantitativo de água, o que não ocorre em usos não consuntivos, como navegação, paisagismo e lançamento de efluentes.

Tabela 4 – Quantificação das captações de água superficial para abastecimento público na bacia hidrográfica (Alternativa 2)

| <b>Usuário</b>          | <b>Latitude<br/>Longitude</b>            | <b>Tipologia da fonte</b>  | <b>População atendida</b> | <b>Vazão média (m³/h)</b> |
|-------------------------|--|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Companhia de saneamento | 22° 17' 32,000 " S<br>41° 53' 47,000 " O | Rio utilizado pela empresa | 112.098                   | 3.074,40                  |
|                         | 22° 19' 53,195 " S<br>42° 11' 12,191 " O | Córrego                    | 138                       | 3,60                      |
|                         | 22° 16' 21,860 " S<br>41° 59' 9,230 " O  | Rio                        | 5.000                     | 792,00                    |
|                         | 22° 13' 22,000 " S<br>42° 1' 14,000 " O  | Córrego                    | 2.000                     | 200,00                    |
|                         | 22° 18' 43,473 " S<br>42° 20' 9,372 " O  | Rio                        | 1.273                     | 24,55                     |
|                         | 22° 19' 25,790 " S<br>42° 21' 45,044 " O | Córrego                    |                           | 7,44                      |
|                         | 22° 20' 47,716 " S<br>42° 33' 29,241 " O | Córrego                    | 1.077                     | 26,64                     |
|                         | 22° 20' 40,341 " S<br>42° 17' 58,349 " O | Córrego                    |                           | 3,24                      |
|                         | 22° 24' 35,000 " S<br>42° 12' 51,200 " O | Córrego                    | 16.000                    | 180,00                    |
|                         | 22° 26' 42,200 " S<br>42° 12' 27,300 " O | Córrego                    |                           | 36,00                     |
|                         | 22° 25' 47,000 " S<br>42° 13' 39,000 " O | Ribeirão                   |                           | 46,80                     |
|                         | 22° 26' 45,100 " S<br>42° 13' 45,600 " O | Córrego                    |                           | 115,20                    |
| Sistema Intermunicipal  | 22°24'39,61'' S<br>42°06'53,43'' O       | Rio utilizado pela empresa | 22.897                    | 1.080,00                  |
| <b>TOTAL</b>            |  |                            | <b>160.483</b>            | <b>5.594,37</b>           |

Fonte: Adaptado de Serla (2008) em Pinheiro (2008)

✓ Criação de Animais

O consumo de água para criação animal está diretamente relacionado ao efetivo dos rebanhos existentes na região. Nessa parcela, deve-se considerar o consumo propriamente dito dos animais e toda demanda de água associada ao seu manejo. Está localizada no município uma empresa agropecuária que possui cinco pontos de captação de água, cada um com uma vazão de captação de 54 m<sup>3</sup>/h, totalizando 270 m<sup>3</sup>/h, como se observa na Tabela 5.

Tabela 5 – Quantificação das captações de água superficial para a criação de animais na bacia hidrográfica (Alternativa 2)

| Usuário                 | Latitude<br>Longitude                    | Tipologia<br>da fonte | Vazão Média<br>(m <sup>3</sup> /h) |
|-------------------------|--|-----------------------|------------------------------------|
| Empresa<br>agropecuária | 22° 16' 33,009 " S 41°<br>56' 14,385 " O | Córrego               | 54                                 |
|                         | 22° 16' 53,749 " S 41°<br>55' 23,496 " O |                       | 54                                 |
|                         | 22° 16' 59,400 " S 41°<br>54' 4,010 " O  |                       | 54                                 |
|                         | 22° 16' 46,800 " S 41°<br>52' 55,000 " O | Rio                   | 54                                 |
|                         | 22° 15' 5,647 " S 41°<br>54' 41,806 " O  |                       | 54                                 |
| <b>TOTAL</b>            |  |                       | 270                                |

Fonte: Adaptado de Serla (2008) em Pinheiro (2008)

✓ Abastecimento Industrial

Unidades marítimas de exploração e produção de petróleo e gás e geração de energia elétrica em usinas termoelétricas consistem nas principais atividades industriais com uso consuntivo<sup>22</sup> de água no município. Também estão presentes duas usinas hidrelétricas, além da atividade de extração de areia. No entanto, essas duas últimas atividades não estão relacionadas na Tabela 6, uma vez que não consomem água em termos quantitativos.

<sup>22</sup> Usos consuntivos são caracterizados pelo consumo quantitativo de água.

Tabela 6 – Quantificação das captações de água superficial para consumo industrial na bacia hidrográfica (Alternativa 2)

| <b>Usuário</b>     | <b>Latitude<br/>Longitude</b>          | <b>Fonte</b>               | <b>Finalidade</b>                   | <b>Vazão Média<br/>(m<sup>3</sup>/h)</b> |
|--------------------|--|----------------------------|-------------------------------------|--|
| Usina termelétrica | 22° 17' 41,00 " S<br>41° 52' 52,00 " O | Rio utilizado pela empresa | Geração de energia em termelétricas | 309,60                                   |
|                    | 22° 17' 45,00 " S<br>41° 52' 46,00 " O |                            |                                     | 1.080,00                                 |
| Empresa estudada   | 22° 18' 39,35" S                       |                            | Abastecimento industrial            | 792,00                                   |
|                    | 41° 55' 12,24" O                       |                            |                                     |  |
| <b>TOTAL</b>       |  |                            |                                     | 2.181,60                                 |

Fonte: Adaptado de Serla (2008) em Pinheiro (2008)

### Consumo por Setor

A Tabela 7 e a Figura 6 apresentam o consumo de água superficial na bacia hidrográfica por setor. Observa-se que o abastecimento público é o maior consumidor, mas logo em seguida aparece o setor industrial, responsável por 23% do consumo atual.

Tabela 7 – Consumo da água do rio por setor (Alternativa 2)

| <b>Setor</b>          | <b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b> |
|-----------------------|--------------------------------|
| Abastecimento Público | 1,55                           |
| Agricultura           | 0,36                           |
| Criação de Animais    | 0,08                           |
| Indústria             | 0,61                           |
| <b>Total</b>          | <b>2,60</b>                    |

Fonte: Baseado em Serla (2008) em Pinheiro (2008)

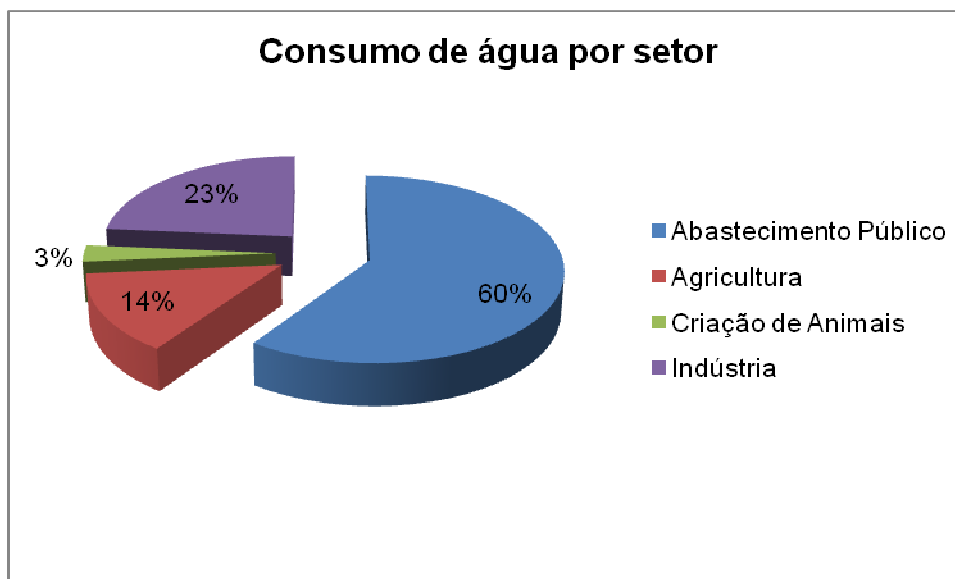


Figura 6 – Consumo da água do rio por setor (Alternativa 2)  
 Fonte: Baseado em Serla (2008) em Pinheiro (2008)

### Hidrografia do Rio

Através de série histórica observou-se que a vazão do rio sofreu variações apreciáveis entre 1995 a 2005, tendo como média mínima  $6,35 \text{ m}^3/\text{s}$  e como média máxima de  $14,65 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que representa uma variação de 2,3 vezes. Para complementar a avaliação, utilizou-se uma série de vazões de maior abrangência (1954 a 2005), desenvolvida pela empresa, onde se observou a vazão mínima de  $4,68 \text{ m}^3/\text{s}$  em 1972. Portanto, para os especialistas do setor, não há possibilidade técnica de falta de água para a companhia, que apresenta uma vazão média de captação de  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ressalta-se que a análise do grupo não levou em consideração as obras de melhoria já executadas para que fosse realizada uma avaliação conservadora e segura. Constatou-se ainda que não é captada a vazão total permitida pela outorga e que a demanda de água resultante da expansão das atividades da empresa será atendida por outras fontes de captação de água. Portanto, não há previsão de aumento na vazão captada do rio, e a demanda de água prevista para a nova unidade marítima de produção, que é de  $0,001158 \text{ m}^3/\text{s}$ , poderia, facilmente, ser atendida por essa alternativa.

Ressalta-se que a companhia de saneamento atuante no município capta cerca de  $1,55 \text{ m}^3/\text{s}$  de água a montante do ponto de captação da empresa, e que outras captações são realizadas na proximidade para irrigação e criação de animais, totalizando uma vazão demandada de  $2,60 \text{ m}^3/\text{s}$

(Tabela 7). Portanto, mesmo considerando-se os outros usuários, a vazão requerida é consideravelmente inferior à vazão mínima da série histórica de 50 anos.

No entanto, em conversa com representante da companhia de saneamento, a empresa foi informada de que a captação para abastecimento público provavelmente será duplicada para 3 m<sup>3</sup>/s em um futuro próximo. Isso reforçou o apoio dos especialistas às propostas de Pinheiro (2008) e Tavares (2011), que incluem o replantio da mata ciliar e a dragagem do rio em pontos estratégicos. De acordo com modelagem matemática realizada por Tavares (2011), essas medidas podem melhorar a vazão máxima do rio em até 38%, minimizando futuros conflitos.

Outro ponto é que os dados disponíveis referem-se a um período que se encerra em 2005, e existem registros de relatos dos operadores da estação da ocorrência de estiagem no rio em 2005 e em 2007. Nessa ocasião realizou-se a dragagem e alterou-se o tipo de bomba utilizada na captação, de forma a não comprometer a operação. Nesse sentido, constatou-se a existência de um projeto para uma nova Estação de Captação de Água (ECA) na empresa, o qual prevê três opções para a captação, no qual as bombas poderão ser alteradas de acordo com o nível do rio. Essa medida torna o sistema menos suscetível às questões sazonais.

Avaliou-se, ainda, estudo encontrado na literatura (RIO DE JANEIRO, 2013), no qual foram estimadas as vazões em diversos pontos da bacia hidrográfica por meio da análise estatística de dados de monitoramento e complementação com modelagem hidrológica para o período de 1 de janeiro de 1950 a 30 de novembro de 2011. Realizou-se o ajuste das vazões mais baixas observadas, a fim de que fossem refletidos os períodos de maior criticidade. No relatório, os especialistas expõem a comparação das vazões calculadas e das vazões medidas em postos de monitoramento para o período de fevereiro de 2010 a junho de 2011, o que permitiu que fosse constatado que, no ponto de captação da empresa, o erro encontrado na vazão média foi de apenas -2%. A vazão estimada para o ponto de interesse foi de 9 m<sup>3</sup>/s, o que reforça a hipótese de que dificilmente faltará água para a empresa, mesmo com a consideração dos outros usos, o que inclui a duplicação da captação da companhia de saneamento. Como última consideração, registra-se a importância da participação de empregado da empresa como representante titular do setor de usuários no Comitê de Bacia Hidrográfica do rio. Com a implantação das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos e a consequente descentralização do poder Federal e Estadual sobre as questões hídricas, coube aos comitês, órgãos consultivos e deliberativos reconhecidos, a função de Parlamento das Águas no âmbito de suas bacias<sup>23</sup>. O representante da empresa já exerceu as funções de membro, Diretor,

---

<sup>23</sup> Para maiores informações, consultar a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) e a Política Estadual de Recursos Hídricos (RIO DE JANEIRO, 1999).



Diretor Presidente e atualmente, no quarto mandato, atua como Diretor Secretário do comitê. Por meio desse representante, a empresa se mantém informada sobre as políticas e diretrizes estabelecidas pelo comitê e tem a oportunidade de inserir o seu ponto de vista das discussões.

#### Critério: Disponibilidade qualitativa de água

O tratamento empregado na ETA é considerado eficiente para o uso pretendido, uma vez que são empregados os processos presentes no tratamento convencional de água para abastecimento humano (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção). Por isso, a principal variável do processo é a qualidade da água captada, e, para a consideração desse aspecto, foram utilizadas as seguintes publicações:

- Dissertação de mestrado que descreve projeto de pesquisa que realizou duas campanhas de coleta em 13 pontos definidos para a análise da qualidade da água do rio utilizado para captação (PINHEIRO, 2008); e
- Relatório do Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas da Região Hidrográfica, o qual será utilizado como insumo para a elaboração do seu Plano de Recursos Hídricos (RIO DE JANEIRO, 2013). O trabalho apresenta a revisão de várias dissertações de mestrado de universidades da região sobre o tema, e, para complementar a avaliação, foram realizadas três campanhas de coleta da água do rio em 11 pontos estabelecidos para a realização de análises.

Por meio do material descrito constatou-se a existência de estudo que avaliou a possibilidade de salinização do rio devido ao avanço do mar. No trabalho, foram simulados cinco cenários, os quais consideraram variações no nível da maré e na vazão do rio. De acordo com os resultados, não foi prevista a possibilidade de salinização no ponto onde a empresa realiza a captação em nenhuma das hipóteses consideradas (AMARAL, 2003 em RIO DE JANEIRO, 2013).

Já na pesquisa descrita por Pinheiro (2008) realizou-se a avaliação de diversas características que influenciam a qualidade da água. Para facilitar a interpretação das informações das campanhas de coleta e análise, a autora utilizou o Índice de Qualidade de Água (IQA) desenvolvido em 1970 pelo *National Sanitation Foundation (NSF)* dos Estados Unidos, que incorpora nove parâmetros com pesos diferenciados, como ilustrado na Tabela 8. A metodologia utilizada classifica as águas em cinco classes de qualidade de acordo com as faixas do IQA (Tabela 9), e, de acordo com a dissertação, a água foi considerada boa no ponto de captação da indústria. Apesar de se tratar de um

dado secundário<sup>24</sup> os profissionais de meio ambiente da empresa consideraram essa informação confiável, uma vez que a pesquisadora utilizou técnica validada por especialistas da área.

Tabela 8 – Parâmetros considerados no IQA (Alternativa 2)

| <b>Parâmetro</b>                      | <b>Peso</b> |
|---------------------------------------|-------------|
| Oxigênio Dissolvido (mg/L)            | 0,17        |
| Coliformes fecais (NPM/100mL)         | 0,15        |
| pH                                    | 0,12        |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) | 0,10        |
| Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> )      | 0,10        |
| Fosfatos (mg/L PO <sub>4</sub> )      | 0,10        |
| Temperatura (°C)                      | 0,10        |
| Turbidez (UNT)                        | 0,08        |
| Resíduos totais (mg/L)                | 0,08        |

Fonte: ANA (2005) em Pinheiro (2008)

Tabela 9 – Classes de qualidade da água de acordo com o IQA aplicado (Alternativa 2)

| <b>Valor IQA</b> | <b>Nível de Qualidade</b> |
|------------------|---------------------------|
| Excelente        | 90<IQA≤100                |
| Bom              | 70<IQA≤90                 |
| Regular          | 50<IQA≤70                 |
| Ruim             | 25<IQA≤50                 |
| Muito Ruim       | 0<IQA≤25                  |

Fonte: SEMAD (2005) em Pinheiro (2008)

Outro ponto considerado pela autora foi a classificação do rio de acordo com a Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005). As classes estabelecem a qualidade almejada para o corpo hídrico de acordo com os usos pretendidos, influenciando planos e políticas governamentais. Assim, quanto mais nobre o uso a que se destina, maior será a restrição quanto ao lançamento de efluentes e maior será a probabilidade de ocorrência da ação de órgãos públicos para a melhoria da qualidade da água do rio, o que impacta o empreendimento de forma benéfica. No Quadro 7 descrevem-se os usos pretendidos para as classes de acordo com a referida Resolução.

<sup>24</sup> Dados secundários são aqueles que foram produzidos por terceiros, e que normalmente são obtidos através de pesquisa bibliográfica.

Quadro 7 – Classes de rios de acordo com a Resolução CONAMA n° 357/05 (Alternativa 2)

| <b>Classe Especial</b>  |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento para consumo humano, após desinfecção;</li> <li>• Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;</li> <li>• Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.</li> </ul>  |
| <b>Classe 1</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;</li> <li>• Proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>• Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;</li> <li>• Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;</li> <li>• Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.</li> </ul> |
| <b>Classe 2</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;</li> <li>• Proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>• Recreação de contato primário;</li> <li>• Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;</li> <li>• Aquicultura e atividade de pesca.</li> </ul>  |
| <b>Classe 3</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;</li> <li>• Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;</li> <li>• Pesca amadora;</li> <li>• Recreação de contato secundário;</li> <li>• Dessedentação de animais.</li> </ul>  |
| <b>Classe 4</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Navegação;</li> <li>• Harmonia paisagística.</li> </ul>  |

Fonte: Baseado em Brasil (2005)

A norma estabelece ainda parâmetros de qualidade de água e os valores a serem atendidos de acordo com o enquadramento dos cursos d'água. O rio utilizado pela empresa ainda não foi enquadrado, e, portanto, ele é considerado Classe 2 (BRASIL, 2005). De acordo com Pinheiro (2008), as águas do rio, no ponto de captação, atendiam os valores estabelecidos para essa classe na época da pesquisa, o que é condizente com o uso realizado pela empresa<sup>25</sup>. No entanto, a montante<sup>26</sup> da captação o rio possuía elevadas concentrações de fósforo, que atendiam apenas ao estabelecido para a Classe 4, o que poderia vir a afetar o ponto de interesse de forma negativa. Nesse sentido, a pesquisadora apresentou proposta de enquadramento do rio na qual o ponto de captação e o trecho a montante seriam classificados como Classe 2, o que beneficiaria o empreendimento.

De acordo com Pinheiro (2008), a bacia hidrográfica recebe, em vários trechos, despejos de efluentes domésticos, o que pode comprometer a qualidade dos corpos hídricos. A região rural possui áreas bem atendidas quanto ao tratamento de esgotos e áreas onde os efluentes são lançados em tanques sépticos<sup>27</sup>, seguidos ou não por filtros e sumidouros, ou diretamente nos cursos d'água. Convém ressaltar que os sistemas compostos por tanques sépticos e filtros, em geral, possuem baixa eficiência de tratamento, especialmente devido ao dimensionamento inadequado ou deficiências na construção e na manutenção, o que resulta em elevadas cargas de matéria orgânica e coliformes termotolerantes<sup>28</sup> infiltradas através dos sumidouros, as quais, após percorrerem os mananciais subterrâneos, atingem os rios. Quanto à área urbana, constatou-se que existe um elevado índice de atendimento por redes coletoras, mas apenas metade da vazão do esgoto coletado recebe algum tipo de tratamento. Além disso, identificou-se na bacia a prática de aquicultura, o que pode contribuir com a degradação da qualidade da água devido ao lançamento de despejos orgânicos nos rios.

Ao avaliar o impacto do lançamento de efluentes de usina termoelétrica situada a jusante<sup>29</sup> da captação realizada pela empresa, Matos (2008) em Rio de Janeiro (2013) afirma que a qualidade da água raramente foi prejudicada a montante do ponto onde o efluente é lançado, e que em raras situações observaram-se alterações em parâmetros como turbidez e óleos e graxas. De acordo com a

---

<sup>25</sup> O principal uso é o abastecimento para consumo humano (exceto ingestão direta) após tratamento convencional.

<sup>26</sup> O termo montante refere-se aos pontos situados antes da área de interesse, considerando-se o sentido do fluxo das águas no rio.

<sup>27</sup> Tanque séptico é o termo técnico das estruturas conhecidas popularmente como fossas.

<sup>28</sup> Coliformes termotolerantes são os coliformes fecais.

<sup>29</sup> O termo jusante refere-se aos pontos situados após a área de interesse, considerando-se o sentido do fluxo das águas no rio.

pesquisa, o corpo hídrico já se encontrava poluído a montante da usina, uma vez que não são atendidos os limites estabelecidos para a Classe 2 para alumínio, ferro, cloro residual, demanda bioquímica de oxigênio (matéria orgânica) e coliformes.

Nesse sentido, de acordo com os dados obtidos nas estações de monitoramento do órgão ambiental atuante na região, que abrangem o período de 24 de setembro de 1980 a 20 de dezembro de 2011, a qualidade da água do rio não atende aos requisitos estabelecidos para a Classe 2 em pelo menos 80% das amostras de água, o que implica na sua Classificação como Classe 3 ou 4. Esporadicamente detectou-se a presença de metais pesados e alguns pesticidas, mas os principais parâmetros responsáveis pelo não enquadramento na Classe 2 são os coliformes termotolerantes e o fósforo (RIO DE JANEIRO, 2013), característicos de esgotos domésticos sem tratamento adequado.

Em Rio de Janeiro (2013) são descritas ainda três campanhas de coleta e análise da água do rio, as quais foram realizadas pelos elaboradores do estudo. Os pesquisadores utilizaram o mesmo IQA que Pinheiro (2008) para a análise dos dados. No ponto onde ocorre a captação da indústria estudada, a qualidade da água foi considerada regular na primeira campanha (outono/2012) e boa na segunda e terceira campanhas (inverno/2012 e verão/2013, respectivamente), o que reforça o resultado da pesquisa anterior, de acordo com a qual a água foi considerada boa no ponto de utilização. Quanto ao enquadramento nas classes de qualidade, na primeira campanha a água foi enquadrada como Classe 3 no ponto de captação, o que ocorreu devido ao baixo valor de oxigênio dissolvido; na segunda campanha a água foi caracterizada como Classe 1; e na terceira, como Classe 2, devido à concentração de coliformes termotolerantes. A Tabela 10 sintetiza os resultados quanto ao enquadramento, mas a variabilidade das informações apresentadas dificulta a análise.

Dessa forma, verificou-se que a qualidade do rio é uma característica dinâmica e afetada por vários fatores, e, por isso, deve ser monitorada constantemente, a fim de que esses aspectos sejam controlados e os usuários possam continuar utilizando as suas águas. Nesse sentido, sugere-se a implantação de mais estações de monitoramento e da agregação de outros parâmetros nas análises realizadas, a fim de que sejam construídas séries históricas de dados para a caracterização detalhada da bacia hidrográfica. Os especialistas afirmam ainda que, na pesquisa, o enquadramento dos corpos hídricos de acordo com as classes propostas pela Resolução CONAMA (BRASIL, 2005) foi realizado para sintetizar as informações sobre a qualidade da água, e que a interpretação dos resultados deve ser cuidadosa, pois os programas de monitoramento consideram diferentes parâmetros e a qualidade das águas pode ser superestimada em algumas situações.

Tabela 10 – Qualidade da água do rio e enquadramento de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 (Alternativa 2)

| Parâmetro e unidade                                     | Resultados das análises   | Enquadramento (Resolução CONAMA nº 357/2005)   |
|---|---|--|
| Condutividade elétrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$ ) | 10 a 196.600 (cerca de 50 no ponto de captação)   | Água doce no trecho utilizado para captação, com oscilação no nível de salinidade nos pontos próximos à foz do rio   |
| Cloretos (mg/L)   | 1 a 2.917 (1 a 7 no trecho onde é realizada a captação)   |  |
| Temperatura (°C)  | 14 a 32,2   | Não se aplica  |
| Orto-fostato (mg/L)                                     | <0,01 a 0,06  |  |
| Cor (mg Pt/L)   | <5 a 50   | Classe 1   |
| Turbidez (NTU)  | 2 a 22  |  |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)                   | <2  |  |
| Nitrogênio amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )              | <0,01 a 0,74  | Classe 1   |
| Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )                           | 0,05 a 0,17   |  |
| Fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> )                     | <0,01 a 0,13  |  |
| Clorofila-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )                    | 0 a 8,4   |  |
| Densidade de cianobactérias (células.mL <sup>-1</sup> ) | 0 a 545   |  |
| Cianetos (mg.L <sup>-1</sup> )                          | <0,005  |  |
| Mercúrio total (mg.L <sup>-1</sup> )                    | Não detectado em nenhum ponto   |  |
| Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )                           | <0,001 a 0,22   |  |
| Ph  | 6,3 a 7,8   |  |
| Sólidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )                    | 23 a 6479   | Classe 1, exceto a foz do rio, onde se verificou a concentração de 6479 mg/L (Classe 4)  |
| Oxigênio Dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> )               | 1,7 a 10  | Apresentou valores críticos no ponto de captação e a jusante dele na primeira campanha, mas nas demais campanhas o limite estabelecido para a Classe 1 foi atendido (6,4 a 8,8 mg/L) |
| Cádmio total (mg.L <sup>-1</sup> )                      | Não detectado na maioria dos pontos, exceto em um ponto a montante e em outro a jusante do ponto de captação, cujas concentrações foram 0,01 e 0,002, respectivamente | Classe 1, exceto os pontos onde detectou-se a presença de cádmio, os quais se caracterizam como Classe 3   |

Tabela 10 - Qualidade da água do rio e enquadramento de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 (Alternativa 2)

| <b>Parâmetro e unidade</b>                             | <b>Resultados das análises</b>   | <b>Enquadramento (CONAMA 357/2005)</b>  |
|--|--|---|
| Chumbo (mg.L <sup>-1</sup> )                           | Detectado apenas na foz do rio, com os valores de 0,04 e 0,02 na segunda e terceira campanhas, respectivamente | Classe 1, exceto a foz do rio (Classe 2)  |
| Alumínio total (mg.L <sup>-1</sup> )                   | Não detectado nos pontos a montante da captação; concentração de 1,1 no trecho utilizado pela empresa          | Classe 1 no trecho a montante da captação e Classe 4 no trecho utilizado pela empresa   |
| Coliformes termotolerantes (NMP.100 mL <sup>-1</sup> ) | 20 a 920.000   | Classe 2 no ponto de captação (<1000 NMP.100 mL nas 3 campanhas); a foz do rio apresentou valores críticos, que não atendem nem mesmo a Classe 3 de águas salinas |

Fonte: Baseado em Rio de Janeiro (2013)

De acordo com os especialistas que elaboraram a pesquisa, o parâmetro responsável pelo maior número de não enquadramentos de acordo com as classes estabelecidas pelo CONAMA (BRASIL, 2005) foi a presença de coliformes termotolerantes, o que confirma os resultados do trabalho de Pinheiro (2008). Além disso, ambos os estudos destacam que as águas coletadas no verão apresentaram pior qualidade que as águas obtidas no inverno, o que indica que a bacia hidrográfica estudada é influenciada pela ocorrência de chuvas (PINHEIRO, 2008; RIO DE JANEIRO, 2013). Isso ocorre porque o aumento do nível de precipitação, verificado no verão, resulta no aumento do escoamento superficial que ocorre na área de contribuição do corpo hídrico, provocando maiores valores de demanda bioquímica de oxigênio, turbidez e coliformes termotolerantes, o que reforça a hipótese de que a principal fonte de contaminação da área é o lançamento de efluentes domésticos não tratados (RIO DE JANEIRO, 2013).

Como ponto positivo da utilização da água da ETA no que refere à qualidade da água captada, destaca-se a existência de sete Unidades de Conservação<sup>30</sup> no local, das quais três são Unidades de Proteção Integral (um Parque Estadual, um Parque Municipal e uma Reserva Biológica)

<sup>30</sup> Unidades de Conservação são áreas protegidas estabelecidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (Brasil, 2000). As unidades são divididas em duas categorias: Proteção Integral, nas quais admite-se apenas o uso indireto dos recursos; e Uso Sustentável, cujo objetivo é compatibilizar a conservação da natureza com o uso de parcela dos seus recursos naturais.

e quatro são Unidades de Uso Sustentável (duas Áreas de Proteção Ambiental e duas Reservas Particulares do Patrimônio Natural). Assim sendo, constatou-se que 46,16% da área total da região hidrográfica inserem-se em algum tipo de Unidade de Conservação, o que pode afetar o empreendimento de forma benéfica, uma vez que essas áreas tendem a promover a proteção de nascentes e cursos hídricos e a melhorar a qualidade da água captada. Além disso, constatou-se, através da pesquisa de Chabaribery *et al.* (2008), que a conservação e o replantio de mata ciliar são opções financeiramente viáveis para a melhoria da qualidade da água do rio utilizado. Outra vantagem da Alternativa 2 é o controle da qualidade da água ao longo do processo, pois, para que seja atendido o Padrão de Potabilidade (BRASIL, 2011), realiza-se o monitoramento desde a captação até os pontos de consumo final, contemplando parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.

#### Critério: Custo da alternativa

Como a estação de tratamento da empresa já se encontra implantada, os custos da adoção dessa alternativa consistem nos gastos com a operação, manutenção e eventuais melhorias do sistema, os quais devem distribuídos entre as unidades da empresa que consumirem a água fornecida pela estação. Dessa forma, os custos associados a essa opção são os seguintes:

- Custo de renovação e manutenção da outorga para a captação da água do rio;
- Custo de renovação e manutenção das licenças ambientais do sistema de captação e da estação de tratamento de água;
- Custo para a captação e adução da água bruta<sup>31</sup>;
- Custo do tratamento da água; e
- Custo de transporte da água tratada até a plataforma marítima.

A seguir, apresenta-se a estimativa de cada uma das parcelas citadas.

---

<sup>31</sup> A adução de água bruta refere-se à retirada da água do rio e ao seu transporte até a ETA da empresa.



➤ Custo de renovação e manutenção da outorga

A outorga para a captação de água foi concedida à empresa em 2000, e o prazo da autorização era de dez anos. Por isso, em 2010 solicitou-se a renovação da outorga, mas até o presente momento o órgão ambiental não se pronunciou. Dessa forma, além da taxa administrativa cobrada para a abertura e análise do processo, o custo da renovação da outorga deve considerar a disponibilização de pessoal para a organização dos documentos requeridos, elaboração de estudos, atendimento de eventuais complementações, acompanhamento de vistorias e manutenção de contato constante com os analistas do órgão ambiental até que o processo seja finalizado.

Para o cálculo do custo com pessoal, dividiu-se o gasto anual da empresa com os seus empregados em 2012 pelo número de trabalhadores, de forma a se estimar o gasto anual médio por trabalhador. Em seguida, obteve-se o custo médio por empregado para cada hora trabalhada (R\$ 132,25). Estimou-se, então, o número de profissionais envolvidos no processo de renovação de outorga e o tempo necessário para o desenvolvimento dos trabalhos requeridos, o que forneceu o valor mostrado na Tabela 11 para gasto anual com pessoal. Contabilizou-se, ainda, o custo da publicação do requerimento e da concessão da outorga na imprensa oficial do estado, de forma a se obter o custo total com esse procedimento administrativo para o horizonte temporal de cinco anos, o qual é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Custo referente ao processo de renovação e manutenção da outorga (Alternativa 2)

| <b>Item de custo</b>   | <b>Custo</b>         |
|--|----------------------|
| Taxa administrativa para análise do processo                             | R\$ 1.018,92         |
| Gasto com pessoal para a renovação e manutenção da outorga               | R\$ 21.160,29        |
| Publicação do requerimento e da concessão da outorga na imprensa oficial | R\$ 264,00           |
| <b>Custo Total</b>   | <b>R\$ 22.443,21</b> |

Constatou-se que o gasto da empresa com pessoal, que consiste no maior item de custo, inclui a remuneração dos empregados, os encargos trabalhistas e sociais e os benefícios fornecidos pela companhia aos seus trabalhadores (plano de saúde, previdência complementar, benefícios educacionais, etc.). Ressalta-se, ainda, que o relacionamento com o órgão ambiental precisará ser mantido mesmo após a concessão da renovação, pois, geralmente, é necessária a elaboração de relatórios periódicos de atendimento das condicionantes da outorga, e podem ser realizadas inspeções no local para avaliar as condições de atuação da empresa. Dessa forma, o estabelecimento

de uma relação de parceria e confiança entre a empresa e a instituição é fundamental para o sucesso dos empreendimentos da companhia. Ressalta-se que os custos das horas estimadas para a realização dessas atividades citadas já estão contabilizados na Tabela 11.

➤ **Custo de renovação e manutenção das licenças ambientais**

A estação de captação de água possui licença ambiental específica, já a estação de tratamento está incluída na licença de operação da base onde está localizada. Ambas as licenças se encontram em renovação, e considerou-se que os custos dos processos referentes à licença da ECA e à licença da ETA, excluindo-se as demais atividades desempenhadas na base onde ela se situa, são semelhantes aos custos apresentados no item anterior. Portanto, o custo foi estimado em R\$ 44.886,42 (R\$ 22.443,21 para cada licença).

➤ **Custos de captação e tratamento**

Os operadores da ECA e da ETA trabalham em turnos de 12 horas, todos os dias da semana, sendo a equipe composta por três pessoas. Além disso, há uma equipe para o apoio dessas atividades, a qual é responsável pela definição das recomendações de SMS (Segurança, Meio Ambiente e Saúde), pela elaboração de planos e estudos e pela avaliação periódica dos processos. O trabalho desses empregados facilita o atendimento das condicionantes da outorga e das licenças ambientais e promove melhorias no sistema de gestão ambiental. Por meio da utilização do custo que cada empregado representa para a empresa, apresentado no item anterior, obteve-se a estimativa do custo com o pessoal para a operação e para o apoio, o qual é mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 – Custo com pessoal para a ECA e para a ETA (Alternativa 2)

| <b>Item de custo</b>                          | <b>Custo</b>             |
|---|--------------------------|
| Custo com pessoal para a operação da ECA      | R\$ 17.139.600,00        |
| Custo com pessoal para a operação da ETA      | R\$ 17.139.600,00        |
| Custo com pessoal para o apoio das atividades | R\$ 63.480,00            |
| <b>Custo total com pessoal</b>                | <b>R\$ 34.342.680,00</b> |

Outro ponto a ser considerado é que o sistema de abastecimento de água utiliza energia elétrica para a iluminação das instalações administrativas, para o monitoramento e controle das operações, para o funcionamento de equipamentos dosadores de produtos químicos utilizados no tratamento, e, principalmente, para o transporte da água. Nesse sentido, de acordo com publicação da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, as motobombas utilizadas nas estações elevatórias para a elevação da água do ponto de captação até o local de tratamento são responsáveis pelo consumo de 90% da eletricidade demandada pelos sistemas (ORMSBEE e WALKI, 1989 e REHEIS e GRIFFIN, 1984 em SNSA, 2008). Dessa forma, os custos referentes à utilização de eletricidade devem ser contabilizados no custo da alternativa.

De acordo com Tsutiya (2001) em SNSA (2008), considerando-se todas as etapas presentes em sistemas de abastecimento, gasta-se cerca 0,6 kWh para se produzir 1 m<sup>3</sup> de água. Como a vazão de captação outorgada é de 220 L/s e os aumentos de demanda serão atendidos por outras fontes, de acordo com a estimativa, no horizonte temporal considerado serão consumidos 20.528.640 kWh (ou 20.528,64 MWh) de eletricidade. Para a obtenção do custo correspondente, utilizou-se a tarifa cobrada pela concessionária de distribuição de energia elétrica, que engloba duas parcelas: a Tarifa de Energia (TE) e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). Para o cálculo, adotou-se o valor cobrado em dezembro de 2013 para o subgrupo de consumo A4, no qual a empresa se enquadra (R\$ 142,06/MWh), o que forneceu o valor de R\$ 2.916.298,60 para o período. Para essa estimativa, optou-se pela utilização da tarifa única para simplificar os cálculos, mas, na prática, sugere-se que o contrato para o fornecimento de eletricidade adote tarifas horo-sazonais, o que possibilita economia por meio da redução da utilização de equipamentos elétricos nos horários de pico.

Além desse custo, devem ser contabilizados os impostos nacionais, estaduais e municipais incidentes sobre o consumo de eletricidade (PIS/PASEP e COFINS, ICMS e COSIP, respectivamente). Como o valor referente a PIS/PASEP e COFINS varia mês a mês, adotou-se o maior valor observado para os anos de 2012 e 2013 (7,68%). Já a parcela referente a ICMS corresponde a 25% da base de cálculo (gasto com energia, sem considerar os demais encargos), que é a taxa cobrada no estado para a faixa de consumo observada. Além disso, há a Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública –COSIP, que é de 7 Unidades de Referência Municipais (URMs) mensais para usuários não residenciais. Assim sendo, a estimativa de gasto com eletricidade, considerando-se as tarifas e impostos vigentes em 2013 é de R\$ 3.870.355,75 para o horizonte de cinco anos, como se observa na Tabela 13.

Tabela 13 – Custo de energia elétrica para o sistema de abastecimento de água (Alternativa 2)

| <b>Item de custo</b>   | <b>Custo</b>            |
|--|-------------------------|
| Custo do consumo efetivo de eletricidade e utilização do sistema de distribuição (TE+TUSD) | R\$ 2.916.298,60        |
| Encargos nacionais (PIS/PASEP e COFINS)  | R\$ 223.971,73          |
| Encargos estaduais (ICMS)  | R\$ 729.074,65          |
| Encargos municipais (COSIP)  | R\$ 1.010,77            |
| <b>Custo Total</b>   | <b>R\$ 3.870.355,75</b> |

A Tabela 14 apresenta as parcelas de custo medidas por Saron (1998) em SNSA (2008) para o funcionamento de uma ETA que opera com uma vazão média de 33 m<sup>3</sup>/s na Região Metropolitana de São Paulo. Considerando-se que a estação estudada pelo autor e a do presente estudo de caso possuem a mesma estrutura de custos, através do gasto estimado com pessoal obteve-se o custo de R\$ 47.566.038,78 para a operação da ETA no período de 5 anos. Para a obtenção desse valor foi utilizado apenas o custo com pessoal para a operação da ETA e metade do custo apresentado para o apoio das atividades, pois a estrutura de custos apresentada por Saron (1998) em SNSA (2008) refere-se apenas à ETA, e não à captação da água e ao seu transporte até o local de tratamento.

Tabela 14 – Parcelas de custo observadas em uma ETA (Alternativa 2)

| <b>Item de custo</b>                                    | <b>% do Custo Total</b> |
|---|-------------------------|
| Produtos químicos utilizados no tratamento              | 49,5                    |
| Pessoal (remuneração e encargos trabalhistas e sociais) | 36,1                    |
| Eletricidade  | 8,2                     |
| Serviços gerais   | 4,4                     |
| Transporte  | 1,8                     |

Fonte: Baseado em Saron (1998) em SNSA (2008)

De acordo com as parcelas de custo divulgadas pelo autor, os gastos estimados com produtos químicos, com serviços gerais e com transporte na ETA para o período considerado são R\$ 23.545.189,20; R\$ 2.092.905,71 e R\$ 856.188,70; respectivamente. Ressalta-se que, de acordo com a Tabela 14, o custo com a energia elétrica utilizada no sistema no período considerado seria R\$ 3.900.415,18, o que representa um erro de apenas 0,77% em relação ao valor apresentado na Tabela 13, o que valida a estimativa do autor.

Como a utilização de produtos químicos na ECA é mínima, adotou-se o valor apresentado anteriormente para o sistema. Além disso, como o custo estimado para o gasto com eletricidade na

ETA foi bastante próximo ao custo apresentado para todo o sistema, considerou-se que os gastos com serviços gerais e transportes também abrangem a ECA e a ETA. Identificaram-se, ainda, outros custos, os quais não são representativos em relação ao custo total e provavelmente foram incluídos por Saron (1998) em SNSA (2008) nos itens apresentados (serviços gerais, produtos químicos, etc.), destacando-se os seguintes:

- Aquisição de suprimentos (água, café, copos descartáveis) e material de escritório para a equipe responsável pela operação;
- Aquisição de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) utilizados pelos operadores, que devem ser trocados de acordo com a sua utilização e desgaste;
- Implantação e manutenção dos sistemas de comunicação (telefone e rádio);
- Realização de testes para a determinação da quantidade de produtos químicos a serem utilizados no tratamento;
- Consumo de água para lavar periodicamente os módulos de tratamento;
- Utilização de caminhão a vácuo para a limpeza periódica da caixa de areia e outros componentes do sistema;
- Realização de análises para a determinação da qualidade da água nos diversos pontos do sistema, de forma a garantir o atendimento do padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Dessa forma, as parcelas de custo para a captação e tratamento da água e o custo total desse item são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Custos para captação, transporte e tratamento da água (Alternativa 2)

| <b>Item de custo</b>                   | <b>Custo</b>             |
|--|--------------------------|
| Custo com pessoal (Tabela 12)          | R\$ 34.342.680,00        |
| Custo com energia elétrica (Tabela 13) | R\$ 3.870.355,75         |
| Custo com produtos químicos            | R\$ 23.545.189,20        |
| Custo com serviços gerais              | R\$ 2.092.905,71         |
| Custo com transporte                   | R\$ 856.188,70           |
| <b>Custo total</b>                     | <b>R\$ 64.707.319,35</b> |

➤ Custo do transporte da água

Para a disponibilização de água à plataforma, a empresa precisará transportá-la do reservatório de armazenamento de água tratada, situado junto à ETA, até o porto operado pela empresa, e deste até o ponto de utilização. Para a estimativa dos custos relacionados à primeira etapa do transporte considerou-se a aquisição de caminhão-pipa com capacidade de 17.000 litros, o qual teve o preço estimado em R\$ 185.000,00 de acordo com pesquisa de mercado. Contabilizaram-se, ainda, os gastos com seguro e com a depreciação do veículo, sendo que o seguro foi estimado em R\$2.000,00 anuais e a depreciação em 10% do valor do caminhão. Além disso, estimou-se o salário do motorista em R\$ 1.350,00, sobre os quais incidem aproximadamente 52,64% de impostos para o empregador (INSS e demais contribuições, FGTS, 13º salário e férias). Considerou-se, ainda, que o veículo consome 1 litro de diesel para cada 5 quilômetros rodados, e para o cálculo do custo com combustível adotou-se o valor de mercado do óleo diesel em 31 de dezembro de 2013 (R\$ 2,59). A distância entre o ponto de aquisição da água e o porto é de cerca de 200 metros, e o caminhão precisará realizar aproximadamente 6 viagens por dia para abastecer a plataforma. Dessa forma, as parcelas de custo relacionadas ao transporte terrestre de água, assim como o custo total dessa atividade, são apresentados na Tabela 16.

Após a chegada da água ao porto, ela será transferida a um rebocador, que consiste em uma embarcação de menor porte responsável pelo transporte da água até a unidade marítima. O custo do aluguel do rebocador foi estimado em R\$ 8.000,00 por dia. Adotando-se a capacidade de 205 m<sup>3</sup> de água potável, serão necessárias 4 viagens por semana, que serão realizadas por um operador que custa aproximadamente R\$6.504,00 por dia de trabalho à empresa. Serão necessárias cerca de 16 viagens por mês, e considerou-se que não será realizada mais de uma viagem por dia devido à limitação de espaço na plataforma para o armazenamento da água. Outro ponto a ser considerado é que a plataforma estará situada a uma distância de 100 km da costa (54 milhas náuticas), e, portanto, serão gastos aproximadamente 180 litros de óleo diesel em um trajeto de ida e volta<sup>32</sup>. Dessa forma, com a utilização do preço do óleo diesel em 31 de dezembro de 2013 obteve-se o gasto de R\$ 466,20 com combustível para cada viagem do rebocador. Ressalta-se, ainda, que a embarcação poderá transportar, além da água, outros insumos, materiais e equipamentos para a unidade abastecida ou para outras unidades, o que reduzirá os custos, mas com a finalidade de se realizar uma análise

---

<sup>32</sup> Considerou-se que são gastos 50 litros de combustível para percorrer 30 milhas náuticas, de acordo com as informações obtidas em [www.webmarinas.com.br](http://www.webmarinas.com.br). A consulta foi realizada em 31/12/2013.

conservadora esse aspecto não foi levado em consideração. Destaca-se, por fim, que a logística do transporte da água à plataforma deve ser muito bem planejada devido aos custos elevados de utilização da infraestrutura envolvida, e, principalmente, devido à necessidade desse recurso para os trabalhadores embarcados e para os processos produtivos desenvolvidos na unidade. Assim sendo, os itens de custo relacionados ao transporte marítimo da água e o custo total do transporte são ilustrados na Tabela 16.

➤ Custo total da alternativa

Para a estimativa do custo total da opção aplicou-se o percentual de consumo de água da plataforma em relação à produção total do sistema aos custos de renovação e manutenção da outorga e das licenças ambientais e aos custos de operação da ECA e da ETA. Por meio da soma desse valor com o custo do transporte da água até o ponto de consumo estimou-se o custo total da alternativa para o horizonte temporal de 5 anos, que é apresentado na Tabela 17.

Tabela 16 – Custo do transporte da água fornecida pela ETA da empresa (Alternativa 2)

| <b>Transporte da água da ETA ao porto</b>            |                       |
|--|-----------------------|
| <b>Item de custo</b>                                 | <b>Custo</b>          |
| Custo da aquisição de caminhão-pipa                  | R\$ 185.000,00        |
| Custo do seguro                                      | R\$ 10.000,00         |
| Custo da depreciação do caminhão                     | R\$ 18.500,00         |
| Salário de mercado para o motorista do caminhão-pipa | R\$ 1.350,00          |
| Custo mensal para a empresa, considerado os impostos | R\$ 2.060,64          |
| Custo do motorista do caminhão-pipa no período       | R\$ 123.638,40        |
| Custo do litro de óleo diesel                        | R\$ 2,59              |
| Consumo de óleo diesel por viagem                    | 0,08 litro            |
| Custo de óleo diesel por viagem                      | R\$ 0,21              |
| Nº de viagens realizadas no período                  | 10800                 |
| Custo do óleo diesel no período                      | R\$ 2.237,76          |
| <b>Custo da etapa</b>                                | <b>R\$ 339.376,16</b> |

Tabela 16 – Custo do transporte da água fornecida pela ETA da empresa (Alternativa 2)

| <b>Transporte da água do porto à plataforma</b>  |                          |
|--|--------------------------|
| <b>Item de custo</b>                             | <b>Custo</b>             |
| Custo diário do rebocador                        | R\$ 8.000,00             |
| Nº de dias de utilização do rebocador no período | 960                      |
| Custo do aluguel de rebocador no período         | R\$ 7.680.000,00         |
| Custo diário do operador                         | R\$ 6.504,00             |
| Nº de dias de trabalho do operador no período    | 960                      |
| Custo do operador no período                     | R\$ 6.243.840,00         |
| Custo do litro de óleo diesel                    | R\$ 2,59                 |
| Consumo de óleo diesel por viagem                | 180 litros               |
| Custo de óleo diesel por viagem                  | R\$ 466,20               |
| Nº de viagens realizadas no período              | 960                      |
| Custo do óleo diesel no período                  | R\$ 447.552,00           |
| <b>Custo da etapa</b>                            | <b>R\$ 14.371.392,00</b> |
| <b>Custo total</b>                               | <b>R\$ 14.710.768,16</b> |

Tabela 17 – Custo total da utilização da água produzida na ETA da empresa (Alternativa 2)

| <b>Item de custo</b>                                    | <b>Custo</b>             |
|---|--------------------------|
| Custo de renovação e manutenção da outorga              | R\$ 22.311,21            |
| Custo de renovação e manutenção das licenças ambientais | R\$ 44.622,42            |
| Custo de captação e tratamento                          | R\$ 64.707.319,35        |
| Custo das etapas anteriores                             | R\$ 64.774.648,98        |
| <b>Parcela do custo referente à plataforma</b>          | <b>R\$ 341.048,34</b>    |
| Custo do transporte da água                             | R\$ 14.710.768,16        |
| <b>Custo total</b>                                      | <b>R\$ 15.051.816,50</b> |

Convém ressaltar que as premissas utilizadas para a elaboração da estimativa de custo não devem ser generalizadas sem um estudo detalhado, uma vez que cada sistema possui as suas especificidades. A utilização de produtos químicos no tratamento da água, por exemplo, é altamente dependente da qualidade da água captada e dos processos utilizados; já o custo com transporte é afetado pela localização das instalações e pela infraestrutura do local. Dessa forma, a estimativa apresentada possui como objetivo viabilizar a aplicação da metodologia proposta para o caso considerado.



#### *4.1.3 Alternativa 3: Recebimento de água da companhia de saneamento da região*

##### Critério: Disponibilidade quantitativa de água

Uma opção para o fornecimento de água à unidade marítima é a celebração de contrato com a companhia de saneamento, que disponibilizaria a quantidade demandada de água no ponto de saída da sua estação de tratamento. A empresa, após receber a água, seria responsável pelo transporte terrestre do recurso até o porto que opera, assim como pelo transporte marítimo até a plataforma. Como a vazão consumida pelo empreendimento é de 1,158 L/s e a empresa de saneamento possuía como meta o fornecimento de 800 L/s no município em 2013, acredita-se que essa demanda seria facilmente atendida. Nesse sentido, ressalta-se que, em conversa com representante da companhia de saneamento, obteve-se a informação de que a vazão captada para o abastecimento público no município seria duplicada.

No entanto, foram encontrados diversos registros da insatisfação da população atendida devido à falta de água. Em audiência pública realizada pela Câmara Municipal e pelo Ministério Público, representantes da companhia de saneamento explicaram que, devido a diferenças entre os políticos atuantes na esfera estadual e na esfera municipal, durante um longo período não foram realizados investimentos no setor de abastecimento de água. Eles afirmaram ainda que a cidade é marcada por um rápido crescimento devido à forte atuação do setor industrial, e que as diversas áreas da infraestrutura (transporte, saneamento, telecomunicações, etc.) não têm conseguido acompanhar o aumento da demanda pelos serviços prestados. No entanto, a companhia afirmou que está realizando os investimentos necessários.

Observou-se, ainda, que o porto da empresa estudada não está situado na região problemática da cidade quanto ao abastecimento de água. Contudo, foram constatadas reclamações de clientes no ano de 2009 quanto à falta de água de água na região. Nesse sentido, a companhia de saneamento explicou que para que todas as regiões possam ser atendidas, realiza-se um rodízio no abastecimento, e, por isso, os usuários devem possuir capacidade mínima de reservação para não ficarem sem água quando não forem abastecidos. Nesse sentido, os profissionais da empresa estudada enfatizaram a importância da presença de reservatórios de água nas unidades marítimas, pois, além da indisponibilidade de água em terra, pode haver dificuldades na atracação de rebocadores caso todos os berços dos píeres estejam ocupados ou as condições climáticas podem impossibilitar o transporte do insumo até a plataforma. Além disso, identificou-se que, em caso de falta de água na embarcação e em terra, o rebocador teria que se deslocar a município de maior porte para obter o insumo, o que

resultaria em impactos na operação, sem falar nos custos envolvidos. Destaca-se, por fim, que a iniciativa da empresa de se deslocar até a estação de tratamento e a existência de instrumento contratual para o fornecimento da água minimizam o risco de desabastecimento.

#### Critério: Disponibilidade qualitativa de água

São válidas, para essa alternativa, as considerações realizadas para a Alternativa 2 quanto à qualidade da água captada (*Seção 4.1.2*), já que o ponto de captação da companhia de saneamento e o ponto de captação da ETA da empresa localizam-se no mesmo trecho do rio. Nesse sentido, constatou-se que a água utilizada atualmente possui qualidade considerada boa, mas que a deficiência no tratamento de efluentes domésticos no município pode deteriorar o manancial utilizado.

Observou-se que, de acordo com a companhia de saneamento, a qualidade da água produzida e distribuída é monitorada e controlada por uma gerência específica com um laboratório móvel para atendimentos rotineiros e emergenciais. O setor possui serviço de atendimento a clientes com telefone e endereço eletrônico para contato publicados no sítio virtual da companhia. De acordo com as informações, todo monitoramento realizado nos mananciais, nos sistemas de produção e na rede de distribuição é encaminhado às vigilâncias sanitárias do estado e municípios da região atendida, que são os órgãos fiscalizadores da qualidade da água distribuída à população. A empresa afirma, ainda, que todas as análises realizadas são divulgadas semestralmente na imprensa oficial e em jornais de grande circulação. Além disso, verificou-se que os resultados das análises da água tratada distribuída são divulgados na conta enviada aos usuários.

No entanto, ao se realizarem questionamentos através do serviço de atendimento aos clientes quanto à qualidade da água, não se obtiveram respostas satisfatórias; os órgãos públicos responsáveis pela fiscalização não se pronunciaram; e, apesar de a empresa informar em seu sítio que publica regularmente os relatórios da qualidade da água fornecida, em consulta realizada em 31 de dezembro de 2013 obtiveram-se apenas os relatórios da qualidade da água disponibilizada no município para 2009 e anos anteriores, e os registros não possuíam informações suficientes para a avaliação da qualidade da água. Destaca-se, por fim, que o município é conhecido por apresentar deficiências na infraestrutura de saneamento básico.

Por outro lado, como a companhia é responsável pelo fornecimento de água à população, ela está sujeita aos padrões de potabilidade publicados pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Nesse sentido, há vários interessados no monitoramento da qualidade da água fornecida, uma vez que essa

é uma questão de saúde pública<sup>33</sup>. Outro ponto positivo é que já foi publicado decreto que estabelece a agência que será responsável pela regulação e pela fiscalização da companhia a partir do segundo semestre de 2015<sup>34</sup>. Além disso, a água não será utilizada para a ingestão direta da população embarcada, que beberá água mineral proveniente de galões.

#### Critério: Custo da alternativa

Para a cobrança da água fornecida aos consumidores, a companhia de saneamento divide os municípios em duas classes: A e B. Além disso, utiliza-se a tarifa progressiva de acordo com o consumo, através da multiplicação da tarifa básica por um fator pré-estabelecido de acordo com a categoria do consumidor e com o consumo mensal em m<sup>3</sup>. A estrutura tarifária vigente de novembro a dezembro de 2013 para os municípios da Classe B, na qual está inserida o município estudado, é apresentada na Tabela 18. Como o consumo de água previsto na plataforma é de 3.002,40 m<sup>3</sup>/mês, o empreendimento situa-se na maior faixa de consumo da categoria industrial. Assim sendo, o consumo total estimado para o horizonte temporal de 5 anos é de 180.144 m<sup>3</sup>, e com a aplicação da tarifa de R\$ 12,34/m<sup>3</sup> obteve-se o custo de R\$ 2.222.841,13 para a aquisição de água.

Para a disponibilização da água à plataforma, a empresa precisará transportá-la do ponto de aquisição ao ponto de utilização, ou seja, será realizado o transporte terrestre da ETA da companhia de saneamento até o porto operado pela empresa, e, posteriormente, o transporte marítimo do porto até a unidade de produção. As prerrogativas adotadas para o cálculo desses gastos já foram detalhadas na estimativa do custo para a utilização da água fornecida pela ETA da empresa (*Seção 4.1.2*). A única diferença é a distância percorrida no transporte terrestre, uma vez que na presente alternativa o ponto de aquisição de água situa-se a cerca de 8 quilômetros do porto. Assim sendo, o resultado dos cálculos são mostrados na Tabela 19, que apresenta, também, o custo total da alternativa para o horizonte temporal de cinco anos.

---

<sup>33</sup> Destacam-se os seguintes grupos de interessados: cidadãos, mídia, órgãos públicos, sociedade civil organizada, comunidade científica e políticos.

<sup>34</sup> Uma das atribuições da agência será o monitoramento e o controle da qualidade da água disponibilizada à população.

Tabela 18 – Estrutura tarifária aplicada pela companhia de saneamento (Alternativa 3)

| <b>Categoria</b> | <b>Faixa (m<sup>3</sup>/mês)</b> | <b>Multiplicador</b> | <b>Tarifa (R\$/m<sup>3</sup>)</b> |
|------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Domiciliar       | 0 - 15                           | 1,00                 | 2,16                              |
|                  | 16 - 30                          | 2,20                 | 4,76                              |
|                  | 31 - 45                          | 3,00                 | 6,49                              |
|                  | 46 - 60                          | 6,00                 | 12,99                             |
|                  | ≥ 60                             | 8,00                 | 17,32                             |
| Comercial        | 0 - 20                           | 3,40                 | 7,36                              |
|                  | 21 - 30                          | 5,99                 | 12,97                             |
|                  | ≥ 30                             | 6,40                 | 13,85                             |
| Industrial       | 0 - 20                           | 4,70                 | 10,17                             |
|                  | 21 - 30                          | 4,70                 | 10,17                             |
|                  | 31 - 130                         | 5,40                 | 11,69                             |
|                  | ≥ 130                            | 5,70                 | 12,34                             |
| Pública          | 0 - 15                           | 1,32                 | 2,86                              |
|                  | ≥ 15                             | 2,92                 | 6,32                              |

Fonte: Adaptado de CEDAE (2013)

Tabela 19 – Custo total da utilização da água da companhia de saneamento (Alternativa 3)

| <b>Aquisição de água da companhia de saneamento</b>          |                          |
|--|--------------------------|
| Custo da etapa   | R\$ 2.222.841,13         |
| <b>Transporte da água do ponto de abastecimento ao porto</b> |                          |
| Item de custo  | Custo                    |
| Custo da aquisição de caminhão-pipa                          | R\$ 185.000,00           |
| Custo do seguro  | R\$ 10.000,00            |
| Custo da depreciação do caminhão                             | R\$ 18.500,00            |
| Salário de mercado para o motorista do caminhão-pipa         | R\$ 1.350,00             |
| Custo mensal para a empresa, considerado os impostos         | R\$ 2.060,64             |
| Custo do motorista do caminhão-pipa no período               | R\$ 123.638,40           |
| Custo do litro de óleo diesel                                | R\$ 2,59                 |
| Consumo de óleo diesel por viagem                            | 3,2 litros               |
| Custo de óleo diesel por viagem                              | R\$ 8,29                 |
| Nº de viagens realizadas no período                          | 10800                    |
| Custo do óleo diesel no período                              | R\$ 89.510,40            |
| <b>Custo da etapa</b>  | <b>R\$ 426.648,80</b>    |
| <b>Transporte da água do porto à plataforma</b>              |                          |
| Item de custo  | Custo                    |
| Custo diário do rebocador                                    | R\$ 8.000,00             |
| Nº de dias de utilização do rebocador no período             | 960                      |
| Custo do aluguel de rebocador no período                     | R\$ 7.680.000,00         |
| Custo diário do operador                                     | R\$ 6.504,00             |
| Nº de dias de trabalho do operador no período                | 960                      |
| Custo do operador no período                                 | R\$ 6.243.840,00         |
| Custo do litro de óleo diesel                                | R\$ 2,59                 |
| Consumo de óleo diesel por viagem                            | 180 litros               |
| Custo de óleo diesel por viagem                              | R\$ 466,20               |
| Nº de viagens realizadas no período                          | 960                      |
| Custo do óleo diesel no período                              | R\$ 447.552,00           |
| <b>Custo da etapa</b>  | <b>R\$ 14.371.392,00</b> |
| <b>Custo total</b>   | <b>R\$ 17.020.881,93</b> |

#### *4.1.4 Alternativa 4: Captação e tratamento de água subterrânea*

##### Critério: Disponibilidade quantitativa de água

Através de pesquisa bibliográfica constatou-se que foram identificados, na região hidrográfica de interesse, 196 pontos de captação de água subterrânea, os quais são utilizados principalmente para abastecimento doméstico na periferia das áreas urbanas e na zona rural. Outros usos identificados foram a irrigação, o abastecimento industrial e a criação de animais (RIO DE JANEIRO, 2013).

No relatório, os autores consideraram disponibilidade hídrica como a capacidade de retirada de água dos reservatórios sem o comprometimento da sua estrutura física. Assim, eles concluíram que faltam dados para a compreensão da hidrogeologia do local de interesse, mas que as informações disponíveis permitem inferir que a disponibilidade hídrica de água subterrânea na bacia hidrográfica é boa. Ainda de acordo com os pesquisadores, a vazão média que pode ser retirada de cada poço, considerando-se uma boa distribuição espacial, é de 1 m<sup>3</sup>/h. Dessa forma, para o abastecimento da unidade marítima, que possui um consumo previsto de 4,17 m<sup>3</sup>/h, seriam necessários 4 ou 5 poços de captação. Levando-se em consideração a quantidade de poços em operação identificados, considerou-se que essa é uma alternativa viável. No entanto, para a implantação dessa opção, seriam necessárias as seguintes medidas: 1) identificação dos mananciais a serem utilizados; 2) obtenção da outorga para a captação dos recursos hídricos; 3) implantação do sistema de captação e desinfecção da água; 4) transporte da água até o porto da empresa; e 4) transporte da água até a unidade marítima de produção.

##### Critério: Disponibilidade qualitativa de água

Para a avaliação da qualidade da água subterrânea dos reservatórios disponíveis na bacia hidrográfica de interesse utilizaram-se publicações que avaliam especificamente os aquíferos da região. Na pesquisa descrita por Menezes, Silva Júnior e Prado (2013), realizaram-se coletas de amostras de água nos anos de 2004 e 2005, as quais abrangeram um total de 36 pontos. Os pesquisadores avaliaram os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/08 quanto aos valores para consumo humano (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Al, Fe, Mn, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e ph) (BRASIL, 2008). Como os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido e ph não possuem valores estabelecidos na norma citada, que dispõe sobre a qualidade da água subterrânea, utilizou-se,

para a sua avaliação, o disposto na Resolução CONAMA nº 357/05, que estabelece os valores permitidos nas águas superficiais (BRASIL, 2005). Destaca-se, por fim, que foi utilizado o IQA desenvolvido pelo CCME<sup>35</sup> em 1997 para a síntese das informações. Os resultados do estudo foram comparados com os de outra publicação, que consiste em um relatório disponibilizado pela Secretaria Estadual do Ambiente (SEA), no qual foram realizados levantamento bibliográfico e análises de amostras de água coletadas em 10 pontos distintos da bacia hidrográfica estudada (RIO DE JANEIRO, 2013).

Na pesquisa de Menezes, Silva Júnior e Prado (2013) obtiveram-se valores acima do estabelecido pela legislação para consumo humano para os parâmetros alumínio, ferro e manganês, e o estudo da hidrogeologia do local mostra que essa contaminação pode ser natural. Nesse sentido, os especialistas que elaboraram o relatório para a SEA afirmaram que é comum, para recursos hídricos subterrâneos, que o limite de potabilidade do ferro e do manganês seja ultrapassado, o que favorece a coloração da água, e as análises realizadas confirmaram essa hipótese (RIO DE JANEIRO, 2013). Ainda, de acordo com Bento (2006) em Rio de Janeiro (2013), normalmente se encontram elevadas concentrações de ferro em ambientes geológicos com as características da região estudada, e alterações nos valores de turbidez em um dos aquíferos presentes na região e de fluoretos em outro também podem ser causadas por fatores naturais.

Já os valores de nitrato, que também ultrapassaram o nível recomendado, provavelmente são causados por contaminação de origem antrópica, uma vez que há uma grande deficiência na infraestrutura de saneamento básico da região e os efluentes domésticos são destinados a sistemas de tanques sépticos e sumidouros. Destacam-se ainda outras fontes de contaminação, como a infiltração de chorume e necrochorume<sup>36</sup>, de adubos nitrogenados e de resíduos de animais. Além disso, muitas vezes, a construção e a operação dos poços não é realizada adequadamente, o que favorece a infiltração dos contaminantes (BENTO, 2006 em MENEZES, SILVA JÚNIOR e PRADO, 2013). Nesse sentido, no relatório da SEA explica-se que os resultados das análises para o parâmetro nitrato variaram de 0,5 a 22 mg/L, e que concentrações superiores a 5 mg/L já indicam a presença dos contaminantes citados anteriormente (RIO DE JANEIRO, 2013). Destaca-se que a decomposição da matéria orgânica detectada também contribui com a coloração da água constatada. Além disso, em vários pontos detectou-se a presença de coliformes termotolerantes e totais. Dessa forma, de acordo com a pesquisa de Menezes, Silva Júnior e Prado (2013), a área de interesse apresentou os piores

---

<sup>35</sup> *Canadian Council of Ministers of the Environment.*

<sup>36</sup> Líquido resultante da decomposição de cadáveres, o qual possui elevada concentração de carga orgânica.

resultados do estado para a qualidade da água subterrânea, uma vez que a maioria das amostras obteve classificação entre regular e muito ruim, apresentando as características descritas para essas classes na Tabela 20.

Relatou-se, também, no estudo disponibilizado pela SEA, que os mananciais subterrâneos situados nas proximidades do litoral e do principal rio da região apresentaram maiores valores de condutividade elétrica, o que é um indicativo de que essas águas estão sendo contaminadas pela salinidade do mar (BENTO, 2006 em RIO DE JANEIRO, 2013) e, por esse motivo, deve-se evitar a realização da captação nesses locais. O problema ocorre devido à elevada concentração de residências e pousadas na área, as quais utilizam, muitas vezes, a captação de água subterrânea para consumo por meio de poços do tipo “ponteira”<sup>37</sup> e favorecem a salinização, restringindo a utilização desses mananciais.

Por outro lado, em Rio de Janeiro (2013) é apresentado um mapa de risco dos aquíferos da região hidrográfica, que foi elaborado pelo cruzamento dos dados de suscetibilidade natural à contaminação e de uso e ocupação do solo, como se observa na Tabela 21. De acordo com os autores, 78% da área apresentam risco de contaminação baixo ou muito baixo, enquanto apenas 5,5% apresentam risco alto ou muito alto, sendo que as áreas de maior risco estão associadas à zona urbana. Além disso, observou-se que as águas coletadas em maiores profundidades são menos influenciadas pelas características dos solos e pelas fontes de contaminação das atividades antrópicas (RIO DE JANEIRO, 2013). Portanto, a captação da água em áreas e profundidades apropriadas contribuirá com os aspectos técnicos do tratamento e reduzirá os custos envolvidos. Por isso, sugere-se que a captação seja realizada em pontos mais elevados e mais distantes do principal rio da região e das áreas urbanas, nas proximidades das zonas de recarga, pois o aquífero situado nessas regiões está menos sujeito à influência da salinidade e apresenta maiores velocidades de circulação, o que favorece a sua qualidade (RIO DE JANEIRO, 2013).

---

<sup>37</sup> Esses poços são construídos através da penetração de uma haste perfurada no terreno, que possibilita a retirada da água através de uma bomba de sucção. O método é muito popular, apresenta baixo custo, mas só funciona em poços rasos. Além disso, deficiências na construção e operação favorecem a infiltração de contaminantes.



Tabela 20 – Classes de qualidade da água subterrânea (Alternativa 4)

| <b>Valor IQA</b> | <b>Nível de Qualidade</b> | <b>Características</b>  |
|------------------|---------------------------|---|
| 95,0 a 100,0     | Ótima                     | A qualidade da água está muito perto das características naturais ou níveis desejáveis. Os valores somente são alcançados se em todos os parâmetros em todas as medições estiverem em conformidade.       |
| 80,0 a 94,9      | Boa                       | A qualidade da água está protegida, mas existe uma pequena ameaça ou algum nível de deterioração foi observado; raramente difere das condições naturais ou níveis desejáveis.                             |
| 65,0 a 79,9      | Regular                   | Alguns parâmetros apresentam inconformidade, indicando que a qualidade da água está ameaçada ou comprometida; às vezes, os valores dos parâmetros se afastam das condições naturais ou níveis desejáveis. |
| 45,0 a 64,9      | Ruim                      | A qualidade da água está frequentemente sendo ameaçada ou está deteriorada; muitas vezes, os valores dos parâmetros se afastam das condições naturais ou níveis desejáveis.                               |
| 0,0 a 44,9       | Muito ruim                | A qualidade da água está quase sempre em perigo ou deteriorada; os valores dos parâmetros frequentemente se afastam das condições naturais ou níveis desejáveis.  |

Fonte: Adaptado de CCME (2001b) em Menezes, Silva Júnior e Prado (2013)

Tabela 21 – Classes de risco de contaminação dos aquíferos (Alternativa 4)

| <b>Classe de Risco</b> | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Área (%)</b> |
|------------------------|------------------------------|-----------------|
| Muito baixo            | 867,9                        | 43,7            |
| Baixo                  | 680,9                        | 34,3            |
| Moderado               | 329,7                        | 16,6            |
| Alto                   | 61,9                         | 3,1             |
| Muito alto             | 46,7                         | 2,4             |

Fonte: Rio de Janeiro (2013)

### Critério: Custo da alternativa

Para a implantação dessa opção seria necessária a obtenção de outorgas para captação de água nos cinco poços necessários. Além da taxa administrativa cobrada pelo órgão ambiental para a abertura e análise do processo e da disponibilização de pessoal para a organização dos documentos requeridos e elaboração dos estudos iniciais, há, ainda, que se contabilizar o custo das horas desses profissionais para elaborar estudos complementares, acompanhar vistorias e manter contato com os analistas do órgão ambiental. Precisa ser considerado, também, o custo com as publicações dos requerimentos e das concessões das outorgas no diário oficial do estado. Após a obtenção das autorizações, os profissionais de meio ambiente precisariam orientar os operadores, a fim de que as condicionantes das licenças fossem atendidas, e elaborar relatórios periódicos para o órgão ambiental. Portanto, foram adotados, para cada poço, os custos para a obtenção da permissão para a captação da água do rio utilizado na Alternativa 2, os quais são apresentados na *Seção 4.1.2*. Nesse sentido, ressalta-se que os custos para a obtenção das autorizações independem, pelo menos em teoria, da vazão captada, uma vez que se trata de um procedimento administrativo para a utilização do recurso, e não da cobrança pelo uso da água. Dessa forma, a estimativa de custo para a obtenção e manutenção das outorgas no período de cinco anos é de R\$ 112.216,05.

Para a estimativa do custo de implantação dos cinco poços de água subterrânea que serão necessários, baseou-se na publicação de Rosa, Mendes e Costa (2010), que estimaram o custo de implantação de um poço tubular com capacidade de 10 m<sup>3</sup>/h em Ilha Grande, no município de Belém, em R\$ 73.305,31. A vazão de cada poço nesse estudo de caso, de acordo com os estudos apresentados, será de 1 m<sup>3</sup>/h, mas os custos para a construção da estrutura necessária são fixos e não variam de forma significativa entre as vazões consideradas. Assim sendo, para a implantação dos cinco poços o custo estimado é de R\$ 366.526,55. Destaca-se que para a construção da estrutura descrita por Rosa, Mendes e Costa (2010), a fim de se evitar o desmoronamento do solo escavado e a entrada de água na cavidade perfurada, utilizou-se tubo geomecânico de PVC<sup>38</sup> para o revestimento das paredes do poço. Além disso, foram instalados filtros nas camadas granulares do aquífero para evitar o arraste de sólidos e o desgaste das bombas utilizadas para a elevação da água. Outros itens considerados pelos pesquisadores foram a realização de testes de vazão; a pré-filtração, a desinfecção e a análise da qualidade da água; além da implantação de reservatório para o seu armazenamento. Dessa forma, as parcelas de custo consideradas são citadas no Quadro 8.

---

<sup>38</sup> Policloreto de polivinila.

Quadro 8 – Itens de custo para a implantação de poços de água subterrânea (Alternativa 4)

|  |
|--|
| <b>Serviços preliminares</b>   |
| <b>Captação</b>  |
| Mobilização e instalação de equipamentos<br>Perfuração para implantação do furo piloto<br>Alargamento do furo piloto<br>Implantação do tubo geomecânico<br>Implantação do filtro geomecânico<br>Implantação de cascalho para a pré-fitração da água<br>Realização de limpeza<br>Realização do teste de vazão<br>Desinfecção<br>Análise da qualidade da água produzida<br>Desmobilização dos equipamentos<br>Elaboração de parecer com ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) |
| <b>Estação elevatória</b>  |
| Instalação de motobomba<br>Instalação de tubulações e conexões hidráulicas<br>Construção de abrigo em alvenaria para o poço<br>Instalação de sistema de desinfecção para a água captada<br>Construção de abrigo em alvenaria para o sistema de tratamento  |
| <b>Implantação de reservatório</b>   |
| <b>Bonificações e despesas indiretas</b>   |

Fonte: Adaptado de Rosa, Mendes e Costa (2010)

Os autores estimaram, também, os gastos com a operação e manutenção do sistema. Como não se conhecem as características dos poços a serem instalados, adotaram-se as premissas utilizadas no estudo, com exceção do consumo de eletricidade, para o qual foi utilizada a tarifa cobrada em dezembro de 2013 pela concessionária local (R\$ 0,51/kWh). Além disso, acrescentou-se o gasto com pessoal para a operação dos poços, que não foi considerado na publicação. Para tanto, considerou-se que haverá um trabalhador em cada poço durante vinte e quatro horas por dia e sete dias por semana, sendo que dois trabalhadores se revezarão em turnos de doze horas. Dessa forma, os custos estimados para a operação dos poços são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Custos com operação e manutenção do sistema de captação de água subterrânea (Alternativa 4)

| <b>Item de custo</b>                | <b>Custo</b>             |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Manutenção da motobomba             | R\$ 58.650,50            |
| Consumo de eletricidade             | R\$ 160.554,38           |
| Manutenção do poço                  | R\$ 91.631,75            |
| Manutenção do sistema de tratamento | R\$ 254.170,25           |
| Custo com os operadores             | R\$ 28.566.000,00        |
| <b>Custo total</b>                  | <b>R\$ 29.131.006,88</b> |

Fonte: Baseado em Rosa, Mendes e Costa (2010)

Após a captação e a desinfecção da água, ela precisará ser transportada dos poços até o porto da empresa, e deste até o ponto de consumo. As prerrogativas adotadas para o cálculo desses gastos já foram detalhadas na estimativa do custo para a utilização da água fornecida pela estação de tratamento da empresa (*Seção 4.1.2*). A única diferença é a distância percorrida no transporte terrestre, uma vez que estimou-se uma distância de 30 km entre os poços e o porto. Assim sendo, o resultado dos cálculos com o transporte da água são mostrados na Tabela 23, e o custo total da alternativa para o período considerado é apresentado na Tabela 24.

Tabela 23 – Custo para o transporte da água dos poços de captação subterrânea à plataforma (Alternativa 4)

| <b>Transporte da água dos poços ao porto</b>         |                          |
|--|--------------------------|
| <b>Item de custo</b>                                 | <b>Custo</b>             |
| Custo da aquisição de caminhão-pipa                  | R\$ 185.000,00           |
| Custo do seguro                                      | R\$ 10.000,00            |
| Custo da depreciação do caminhão                     | R\$ 18.500,00            |
| Salário de mercado para o motorista do caminhão-pipa | R\$ 1.350,00             |
| Custo mensal para a empresa, considerado os impostos | R\$ 2.060,64             |
| Custo do motorista do caminhão-pipa no período       | R\$ 123.638,40           |
| Custo do litro de óleo diesel                        | R\$ 2,59                 |
| Consumo de óleo diesel por viagem                    | 12 litros                |
| Custo de óleo diesel por viagem                      | R\$ 31,08                |
| Nº de viagens realizadas no período                  | 10800                    |
| Custo do óleo diesel no período                      | R\$ 335.664,00           |
| <b>Custo da etapa</b>                                | <b>R\$ 672.802,40</b>    |
| <b>Transporte da água do porto à plataforma</b>      |                          |
| <b>Item de custo</b>                                 | <b>Custo</b>             |
| Custo diário do rebocador                            | R\$ 8.000,00             |
| Nº de dias de utilização do rebocador no período     | 960                      |
| Custo do aluguel de rebocador no período             | R\$ 7.680.000,00         |
| Custo diário do operador                             | R\$ 6.504,00             |
| Nº de dias de trabalho do operador no período        | 960                      |
| Custo do operador no período                         | R\$ 6.243.840,00         |
| Custo do litro de óleo diesel                        | R\$ 2,59                 |
| Consumo de óleo diesel por viagem                    | 180 litros               |
| Custo de óleo diesel por viagem                      | R\$ 466,20               |
| Nº de viagens realizadas no período                  | 960                      |
| Custo do óleo diesel no período                      | R\$ 447.552,00           |
| <b>Custo da etapa</b>                                | <b>R\$ 14.371.392,00</b> |
| <b>Custo total com transporte</b>                    | <b>R\$ 15.044.194,40</b> |

Tabela 24 – Custo total da utilização de água subterrânea (Alternativa 4)

| <b>Item de custo</b>               | <b>Custo</b>             |
|------------------------------------|--------------------------|
| Obtenção e manutenção das outorgas | R\$ 112.216,05           |
| Implantação dos poços              | R\$ 366.526,55           |
| Operação e manutenção dos poços    | R\$ 29.131.006,88        |
| Transporte da água                 | R\$ 15.044.194,40        |
| <b>Custo total</b>                 | <b>R\$ 44.653.943,88</b> |

#### 4.2 Etapa 7: Definição de pesos relativos para os critérios

Para a realização dessa etapa, propõe-se que o facilitador aplique questionários aos membros do grupo para que eles atribuam individualmente pesos aos critérios, de acordo com o seu julgamento. A fim de facilitar esse procedimento, as questões podem ser estruturadas através de uma matriz que estabeleça a comparação dos critérios aos pares, como proposto pela técnica *AHP*, abordada na *Seção 2.4*. Sugere-se que o valor correspondente ao somatório dos pesos seja igual a um, como observado na Tabela 25, o que facilita a comparação dos questionários e a negociação da resposta final do grupo. Após o preenchimento realizado pelos analistas de forma individual, propõe-se que o facilitador responda o questionário com a equipe, a fim de que seja definido um único peso para cada critério. Nessa fase, ele deve considerar as diferenças de opiniões e intermediar o estabelecimento de um consenso, e, se necessário, intervir para que todos possuam a oportunidade de expressar a sua avaliação. Destaca-se, ainda, que as opiniões de todos os analistas devem ser igualmente consideradas.

Nos casos onde a discussão não for possível ou conveniente, pode-se adotar a média aritmética dos pesos atribuídos pelos membros do grupo. Como o decisor será o principal responsável pela decisão tomada, como explicado por Renn (1986)<sup>39</sup>, o resultado dessa etapa pode ser utilizado por ele como subsídio para a determinação dos pesos a serem aplicados na análise. Dessa forma, o gestor poderá aplicar os pesos atribuídos pelos analistas caso ele concorde com os valores apresentados, e isso respaldará a sua decisão; ou poderá determinar a aplicação de outros pesos, se assim preferir. Na presente análise, devido à impossibilidade da aplicação da metodologia proposta, foram adotados os pesos atribuídos por um técnico da gerência de meio ambiente, onde já foram realizados diversos estudos sobre o tema. Dessa forma, o resultado da etapa é ilustrado na Tabela 25.

Tabela 25 – Pesos atribuídos aos critérios

| <b>Critério</b>                      | <b>Peso</b> |
|--------------------------------------|-------------|
| Disponibilidade quantitativa de água | 0,4         |
| Disponibilidade qualitativa de água  | 0,3         |
| Custo das alternativas               | 0,3         |
| Somatório dos Pesos                  | 1,0         |

<sup>39</sup> Para maiores detalhes consultar a metodologia proposta por Renn (1986) na *Seção 2.3*.

### *4.3 Etapa 8: Avaliação das alternativas de acordo com os critérios*

Apresenta-se, a seguir, a avaliação do estudo apresentado na *Seção 4.1*, assim como a atribuição de pontuações às opções de acordo com os critérios definidos. Destaca-se que essa avaliação corresponde à Etapa 5 da metodologia proposta por Renn (1986), mas diante da impossibilidade do desenvolvimento da técnica descrita pelo autor aplicou-se a avaliação de forma direta. Ressalta-se ainda que a análise de risco das alternativas foi incorporada nessa etapa através da atribuição de pontuações inferiores às opções que, de acordo com o conhecimento técnico e experiência do analista que realizou a avaliação, apresentam maiores riscos de falhas de acordo com os critérios definidos. Além disso, como exposto no capítulo anterior<sup>40</sup>, os MMAD permitem a incorporação de informações imprecisas ou mesmo da ausência de dados na análise, aspectos que também elevam os riscos das alternativas, e, por isso, também resultaram em piores avaliações. No entanto, como foram identificadas poucas opções para a solução do problema, não se considerou a atribuição de uma pontuação mínima a ser atingida pelas alternativas. Destaca-se ainda que o número reduzido de alternativas e critérios identificados favoreceu a visão total da estruturação do problema para a atribuição de valores.

---

<sup>40</sup> Capítulo 2.

#### 4.3.1 Alternativa 1: Implantação de sistema para dessalinização de água do mar na unidade marítima

Como não há possibilidade de faltar água no mar para captação e tratamento na plataforma, essa opção obteve pontuação máxima para o critério disponibilidade quantitativa de água, como se observa na Tabela 26, que apresenta a avaliação da alternativa. Quanto à disponibilidade qualitativa da água, sabe-se que, devido à distância entre a unidade de produção e a costa, a água utilizada não será afetada pela poluição antrópica a curto ou médio prazo, e, portanto, esse não é um fator preocupante. No entanto, se a salinidade do local for elevada, o custo do tratamento pode ser superior ao estimado devido à necessidade de utilização de tecnologias mais complexas e da troca de materiais e equipamentos com maior frequência. Assim sendo, considerou-se que, apesar de afetar o custo da opção, a salinidade da água não é um fator impeditivo para a implantação da alternativa, e, por isso, ela também foi bem avaliada quanto a esse critério, como se observa na Tabela 26. O custo estimado para a opção é bastante favorável, mas como não foi possível a consideração do valor do espaço utilizado para o sistema de tratamento na unidade marítima a alternativa obteve pontuação mediana quanto a esse aspecto. Além disso, observou-se, por meio da elaboração do estudo apresentado na *Seção 4.1*, que existem poucas informações disponíveis para a avaliação dessa alternativa, o que é frequente em questões relativas a meio ambiente. Isso reforça a aplicação dos MMAD nesses casos, pois os analistas podem atribuir pontuações inferiores à opção devido às incertezas observadas. Em uma situação real, caso necessário, eles poderiam solicitar ao facilitador o auxílio de um especialista no assunto para auxiliá-los na avaliação desses aspectos.

Tabela 26 – Avaliação da Alternativa 1 quanto aos critérios definidos

| <b>Critério</b>                      | <b>Avaliação</b> |
|--------------------------------------|------------------|
| Disponibilidade quantitativa de água | 10,0             |
| Disponibilidade qualitativa de água  | 7,5              |
| Custo da alternativa                 | 5,0              |



#### 4.3.2 Alternativa 2: Utilização da água produzida por ETA da empresa

Quanto à disponibilidade quantitativa de água, a modelagem hidrológica da vazão do rio permite concluir que dificilmente faltará água para a empresa, mesmo considerando-se os demais usos das águas do rio e a previsão de duplicação da captação da companhia de saneamento da região. Além disso, a empresa estudada está se preparando para a ocorrência de eventuais estiagens, como as observadas em 2005 e 2007, com a modernização da estação de captação, que permitirá a troca da bomba para a retirada da água de acordo com o nível do rio. Como opção no caso de redução da vazão, há, ainda, a possibilidade da realização de dragagem no leito corpo hídrico. Assim sendo, a alternativa foi bem avaliada quanto a esse critério, como se observa na Tabela 27, que apresenta a avaliação da opção. Quanto ao segundo critério, observou-se que a qualidade da água captada foi considerada boa na maioria das campanhas de coleta e análise avaliadas, o que consiste em um ponto positivo. No entanto, a região estudada possui grande deficiência na infraestrutura de saneamento básico, e os efluentes sanitários dispostos de forma inadequada podem vir a deteriorar o rio utilizado, e por isso atribuiu-se pontuação mediana quanto a esse critério. Ressalta-se, contudo, que o critério com a menor pontuação foi o custo da alternativa, principalmente devido aos gastos elevados para a utilização da infraestrutura envolvida no transporte marítimo da água do porto operado pela empresa até o ponto de utilização.

Tabela 27 – Avaliação da Alternativa 2 quanto aos critérios definidos

| <b>Critério</b>                      | <b>Avaliação</b> |
|--------------------------------------|------------------|
| Disponibilidade quantitativa de água | 8,0              |
| Disponibilidade qualitativa de água  | 5,0              |
| Custo da alternativa                 | 3,0              |

#### 4.3.3 Alternativa 3: Recebimento de água da companhia de saneamento atuante na região

Com base no estudo apresentado na *Seção 4.1.3*, conclui-se que a aquisição de água da companhia de saneamento da região para o abastecimento da plataforma possui pontos positivos e negativos quanto à disponibilidade quantitativa e qualitativa do recurso, sendo difícil a avaliação. Para o preenchimento da matriz apresentada na Tabela 28, considerou-se, quanto ao primeiro critério, que a pouca representatividade da demanda de água do empreendimento em relação à vazão fornecida pela companhia no município, o estabelecimento de um instrumento contratual junto à empresa de saneamento e a iniciativa de buscar a água com caminhão-pipa na estação de tratamento compensam o histórico de falta de abastecimento no município e a priorização do abastecimento público, e por isso a alternativa foi relativamente bem avaliada quanto a esse critério. Quanto à disponibilidade qualitativa do recurso, considerou-se que a deficiência da qualidade da água disponibilizada, em grande parte devido à falta de tratamento dos efluentes sanitários no município, é contrabalanceada, em parte, pelos agentes que pressionam os órgãos fiscalizadores e a companhia de saneamento para a resolução dessa questão (órgãos fiscalizadores, usuários, sociedade civil organizada e mídia), e, assim, a opção obteve uma avaliação mediana quanto a esse critério. O custo da alternativa, por sua vez, consistiu no critério de pior avaliação, principalmente devido aos gastos elevados para o transporte marítimo da água do porto da empresa até a unidade marítima.

Tabela 28 – Avaliação da Alternativa 3 quanto aos critérios definidos

| <b>Critério</b>                      | <b>Avaliação</b> |
|--------------------------------------|------------------|
| Disponibilidade quantitativa de água | 7,0              |
| Disponibilidade qualitativa de água  | 5,0              |
| Custo da alternativa                 | 2,0              |

#### 4.3.4 Alternativa 4: Captação e tratamento de água subterrânea

A disponibilidade quantitativa de água dessa alternativa é incerta, pois, apesar de especialistas haverem estimado a vazão disponível nos aquíferos da região, a empresa precisaria encontrar locais com disponibilidade hídrica que pudessem ser explorados. Além disso, os poços precisariam ser espaçados, para que a estrutura física do aquífero e a sua capacidade de fornecimento de vazão não fossem afetadas, o que dificultaria a disponibilização dessas áreas. Assim sendo, a alternativa não foi bem pontuada quanto a esse critério, com se observa na Tabela 29, que apresenta a matriz de avaliação da opção. Quanto à qualidade da água, apesar de os aquíferos da região serem afetados por contaminação de origem natural e antrópica, a captação em pontos favoráveis e a profundidades adequadas melhora esse aspecto de forma significativa. No entanto, não se sabe se a empresa conseguirá encontrar água que possa utilizar nos pontos de interesse, localizados fora da zona urbana e em áreas elevadas, o que prejudicou a avaliação da opção quanto a esse critério. Ressalta-se, contudo, que o custo da alternativa foi o critério pior avaliado, atribuindo-se a ele pontuação igual a zero, uma vez que o gasto estimado é muito superior aos custos das demais opções, principalmente devido ao pessoal necessário para a operação dos poços e à impossibilidade de dividir esse custo com outras unidades da empresa, uma vez que toda a água fornecida seria consumida pela plataforma. Pensou-se em reduzir o número de operadores, mas a distância necessária entre os poços, a necessidade de monitoramento do nível da água e de outros fatores operacionais e questões de segurança inviabilizam que o mesmo trabalhador opere mais de um poço simultaneamente. Destaca-se, por fim, que da mesma forma que na utilização de água dessalinizada (Alternativa 1), a falta de informações dificulta a avaliação, e, por isso, os analistas poderiam solicitar ao facilitador o auxílio de um especialista.

Tabela 29 – Avaliação da Alternativa 4 quanto aos critérios definidos

| <b>Critério</b>                      | <b>Avaliação</b> |
|--------------------------------------|------------------|
| Disponibilidade quantitativa de água | 4,0              |
| Disponibilidade qualitativa de água  | 5,0              |
| Custo da alternativa                 | 0,0              |

#### 4.4 Etapas 10 e 11: Aplicação do método de agregação, comparação das avaliações finais das alternativas e indicação das opções mais vantajosas ao tomador de decisão

A Tabela 30 apresenta o resultado da avaliação das alternativas de acordo com os critérios definidos, assim como o peso relativo atribuído a cada critério. Para a obtenção de uma avaliação global para cada alternativa, a fim de que as opções pudessem ser comparadas, aplicaram-se, inicialmente, as equações sugeridas por Soares (2004), que consistem em métodos de critério único de síntese<sup>41</sup>. Para a comparação dos resultados foi utilizado, então, o programa *Criterion Decision Plus*, com a utilização de técnica de agregação que se enquadra na mesma categoria.

Tabela 30 – Matriz de avaliação das alternativas de acordo com os critérios

| Critério                             | Peso do critério | Avaliação                   |                             |                             |                             |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                      |                  | Alternativa 1 <sup>42</sup> | Alternativa 1 <sup>43</sup> | Alternativa 3 <sup>44</sup> | Alternativa 4 <sup>45</sup> |
| Disponibilidade quantitativa de água | 0,4              | 10,0                        | 8,0                         | 7,0                         | 4,0                         |
| Disponibilidade qualitativa de água  | 0,3              | 7,5                         | 5,0                         | 5,0                         | 5,0                         |
| Custo da alternativa                 | 0,3              | 5,0                         | 3,0                         | 2,0                         | 0,0                         |

<sup>41</sup> Os métodos de critério único de síntese foram abordados na *Seção 2.4 - Métodos de agregação* utilizados nos MMAD.

<sup>42</sup> Implantação de sistema para dessalinização de água do mar na unidade marítima.

<sup>43</sup> Utilização da água produzida por ETA da empresa.

<sup>44</sup> Recebimento de água da companhia de saneamento da região.

<sup>45</sup> Captação e tratamento de água subterrânea.

### Equações sugeridas por Soares (2004)

As equações propostas, que foram abordadas na *Seção 2.4*, são a soma ponderada, o produto ponderado e a soma ponderada modificada. Observa-se, na Tabela 31, que apesar das pequenas diferenças nos valores das avaliações obtidas com a soma ponderada e com o produto ponderado, a ordem de classificação das alternativas foi mantida. Constatou-se uma maior diferença no valor da avaliação para a Alternativa 4, pois a atribuição do valor zero para o custo da opção, no produto ponderado, resultou na eliminação dessa opção da análise. Dessa forma, se fosse utilizada somente essa técnica de agregação, a utilização de água subterrânea não seria indicada aos decisores, devido ao seu elevado custo em relação às outras alternativas. Adicionalmente, como o resultado da soma ponderada modificada representa o desvio das opções em relação a uma alternativa considerada ideal<sup>46</sup>, que, para o presente caso, consistiu em uma alternativa de referência a qual se atribuiu a pontuação máxima (10,00) para todos os critérios, a ordem de classificação das opções obtida com a aplicação das outras técnicas foi confirmada. Dessa forma, apresenta-se a hierarquização das opções em ordem decrescente de preferência: 1) Alternativa 1; 2) Alternativa 2; 3) Alternativa 3; e 4) Alternativa 4.

Tabela 31 – Avaliação das alternativas de acordo com os critérios únicos de síntese

| Alternativa | Avaliação      |                   |                           |
|-------------|----------------|-------------------|---------------------------|
|             | Soma ponderada | Produto ponderado | Soma ponderada modificada |
| <b>1</b>    | 7,75           | 7,45              | 2,25                      |
| <b>2</b>    | 5,60           | 5,18              | 4,40                      |
| <b>3</b>    | 4,90           | 4,35              | 5,10                      |
| <b>4</b>    | 3,10           | 0,00              | 6,90                      |

<sup>46</sup> A alternativa ideal é uma solução hipotética que apresenta nível máximo de satisfação para todos os critérios.

### *Criterion Decison Plus*

Para a obtenção de uma avaliação global para cada alternativa aplicou-se, também, a versão 3.0 do programa *Criterion Decision Plus (CDP)*, que possui uma variação que é disponibilizada gratuitamente a estudantes<sup>47</sup>. A técnica selecionada no programa para a análise foi a *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, descrita na *Seção 2.4*, que é classificada como um método de critério único de síntese, assim como as equações utilizadas na seção anterior. No entanto, convém ressaltar que como os tomadores de decisão consideram poucos aspectos para avaliar a questão estudada, a metodologia de hierarquização proposta foi simplificada. Os critérios, devido ao seu número reduzido, foram ligados diretamente à meta do problema, sem a necessidade de agrupamento de acordo com o seu grau de similaridade. Para ilustrar o exposto Figura 7 apresenta um exemplo hipotético de estruturação gráfica de acordo com a *AHP*, enquanto a Figura 8 mostra a aplicação para o presente estudo de caso.



Figura 7 – Exemplo de estruturação gráfica (CDP)

<sup>47</sup> O programa foi obtido no endereço eletrônico <http://www.infoharvest.com> em 9 de janeiro de 2014.

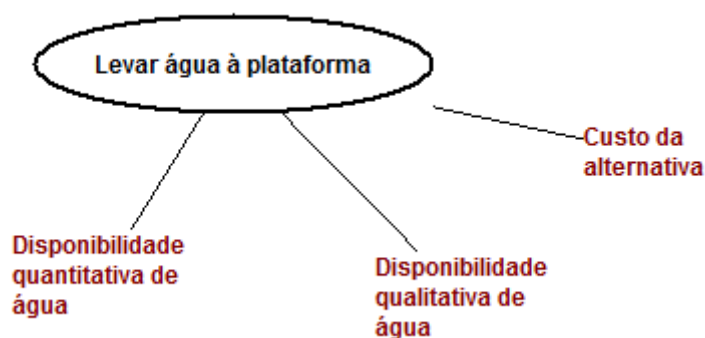


Figura 8 – Estruturação gráfica do problema estudado (CDP)

Para a classificação das alternativas, podem ser utilizados três métodos, os quais foram descritos no tutorial do programa<sup>48</sup>:

- Comparação direta: técnica utilizada para a inserção de dados quantitativos sobre cada critério, os quais resultam de uma análise prévia ou da experiência e compreensão do problema por parte dos analistas;
- Comparação integral dos pares: essa opção, que compara as alternativas aos pares, é útil na ausência de dados quantitativos ou quando a maioria dos critérios possui similaridade. O método agrupa os critérios em conjuntos para que cada aspecto seja comparado a todos os outros do mesmo grupo. A inserção de pesos é facilitada porque os critérios considerados próximos são comparados verbalmente uns contra os outros para a quantificação em uma escala de pesos verbais que variam de “absolutamente melhor” a “absolutamente pior”.
- Comparação abreviada dos pares: técnica semelhante à comparação integral dos pares, com a exceção de que são considerados conjuntos menores, uma vez que comparações óbvias são omitidas. Por exemplo, se “A” é melhor que “B” e “B” é melhor que “C”, então “A” é melhor que “C”, e a última comparação não é realizada.

Na análise realizada aplicou-se a comparação direta, uma vez que o estudo de cada opção, apresentado na *Seção 4.1*, permitiu a atribuição de pontuações às alternativas de acordo com os critérios. Os passos para a inserção dos dados no programa e a visualização dos resultados e avaliações disponíveis são detalhados no Anexo A. Por meio das etapas descritas obteve-se o gráfico

<sup>48</sup> O tutorial do programa também foi obtido através do endereço eletrônico <http://www.infoharvest.com> em 9 de janeiro de 2014.

visualizado na Figura 9, o que confirma a classificação resultante da aplicação das equações sugeridas por Soares (2004) (Seção 4.4).

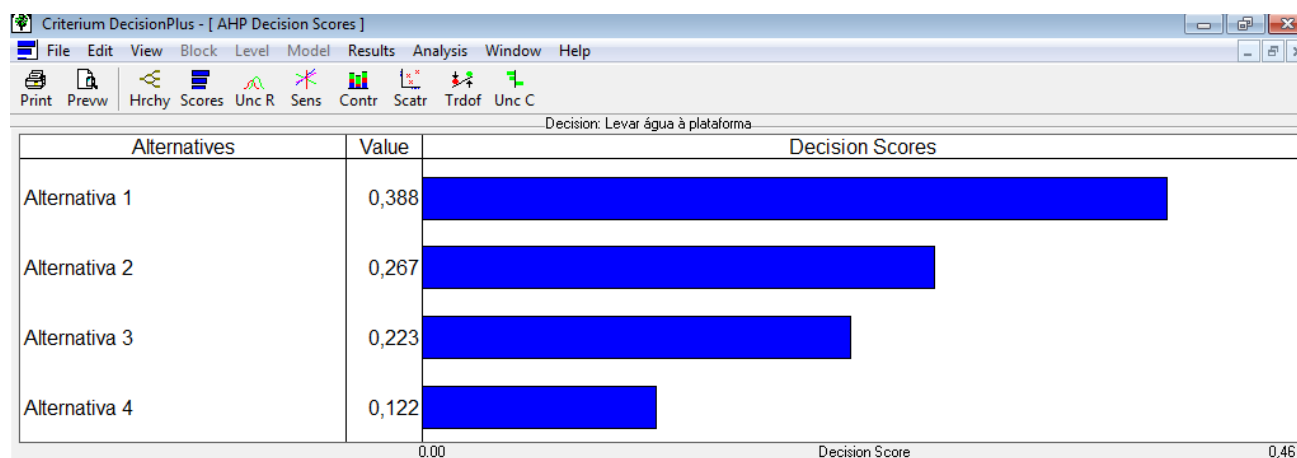


Figura 9 – Classificação das alternativas (CDP)

Para a obtenção desse resultado, o programa normalizou<sup>49</sup> as avaliações das alternativas. Assim, as pontuações das opções de acordo com cada critério foram somadas, e as avaliações quanto a esse critério foram divididas pelo resultado da soma, o que resultou nos valores apresentados na Figura 10. Como os pesos foram definidos em valores decimais e a sua soma é igual a um, eles não precisaram ser normalizados. Então as avaliações de cada opção de acordo com cada critério foram multiplicadas pelos pesos dos critérios correspondentes, e as somas dos resultados obtidos para cada alternativa, mostrados na última linha da planilha, consistiram na avaliação final das opções, como ocorre na soma ponderada.

| Lowest Level                         | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Alternativa 4 | Model |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|
| Disponibilidade quantitativa de água | 0,345         | 0,276         | 0,241         | 0,138         | 0,400 |
| Disponibilidade qualitativa de água  | 0,333         | 0,222         | 0,222         | 0,222         | 0,300 |
| Custo da alternativa                 | 0,500         | 0,300         | 0,200         | 0,000         | 0,300 |
| Results                              | 0,388         | 0,267         | 0,223         | 0,122         |       |

Figura 10 – Planilha com os cálculos realizados (CDP)

<sup>49</sup> A normalização consiste em um recurso matemático que permite a comparação de parâmetros medidos em diferentes escalas, como explicado no item *Analytic Hierarchy Process* da Seção 2.4.



A Figura 11 apresenta a contribuição dos critérios para a pontuação final das opções. A ilustração permite constatar, por exemplo, que o custo não contribuiu para a avaliação da Alternativa 4, uma vez que ela obteve pontuação igual a zero nesse aspecto.

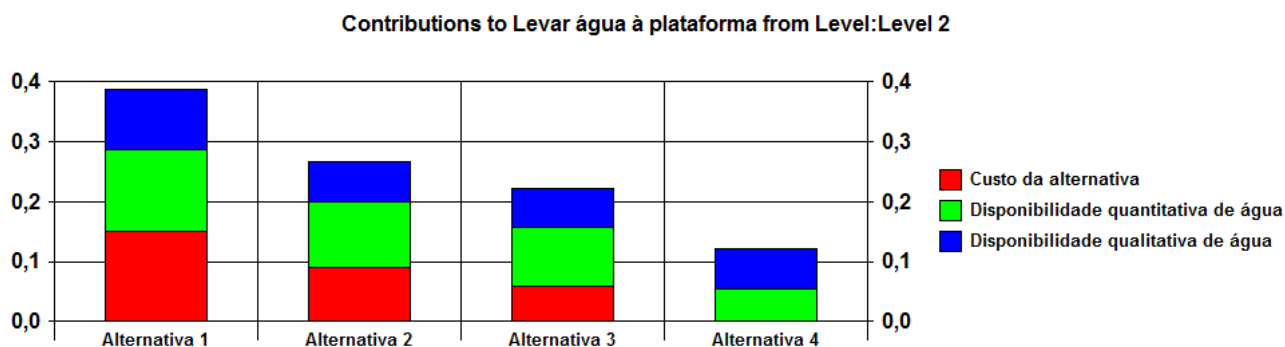


Figura 11 – Contribuição dos critérios para a avaliação das alternativas (*CDP*)

O programa de computador permite, ainda, a realização da análise de sensibilidade do resultado quanto aos critérios, conforme ilustrado nas Figuras 12, 13 e 14. De acordo com a modelagem, o custo das opções é o fator que exerce maior influência sobre o resultado, sendo seguido pela disponibilidade qualitativa e pela disponibilidade quantitativa de água, que apresentaram a mesma criticidade para a análise.

Nos gráficos de sensibilidade apresentados a seguir, a linha vertical vermelha indica o valor de prioridade atual para esse peso e o seu cruzamento com as linhas horizontais indica as pontuações das opções. A maior diferença nas avaliações ocorre com a alteração do peso do custo da alternativa, como se observa na Figura 12, e por isso esse é o critério mais crítico. A ilustração possibilita constatar que quanto maior o peso atribuído ao custo maior a vantagem da Alternativa 1 em relação às demais. Quando é atribuído peso máximo à disponibilidade qualitativa de água, por sua vez, as Alternativas 2, 3 e 4 obtêm a mesma classificação, uma vez que elas possuem a mesma pontuação quanto a esse aspecto (Figura 13), mas a Alternativa 1 permanece como primeira opção.

Já no que diz respeito à disponibilidade quantitativa de água, cuja sensibilidade é ilustrada na Figura 14, o aumento do peso do critério resulta na redução da diferença das avaliações das alternativas, embora o seu ranqueamento permaneça inalterado. Dessa forma, observou-se que, no presente estudo de caso, o resultado da análise não seria alterado independentemente dos pesos

atribuídos aos critérios, uma vez que a mudança na posição da linha vermelha alteraria as diferenças nas pontuações entre as alternativas, mas não a classificação final.

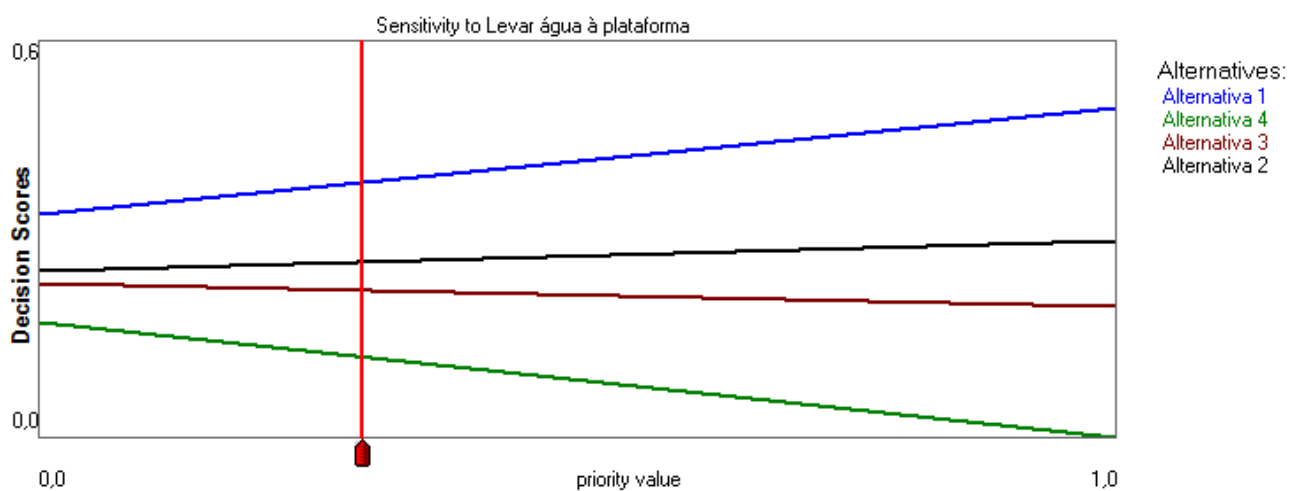


Figura 12 – Sensibilidade da análise quanto ao custo das alternativas (CDP)

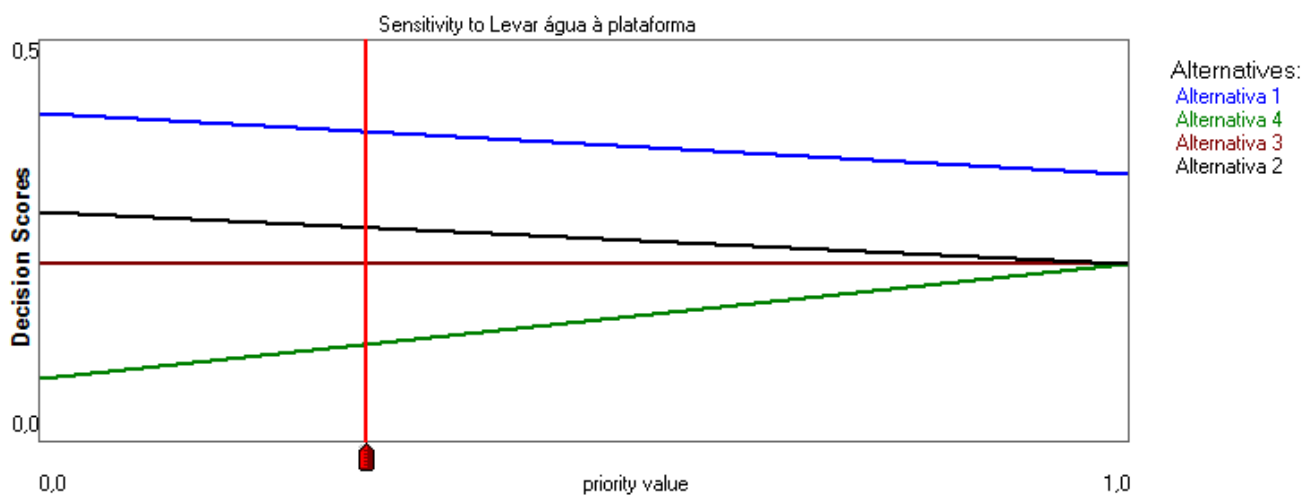


Figura 13 – Sensibilidade da análise quanto à disponibilidade qualitativa de água (CDP)

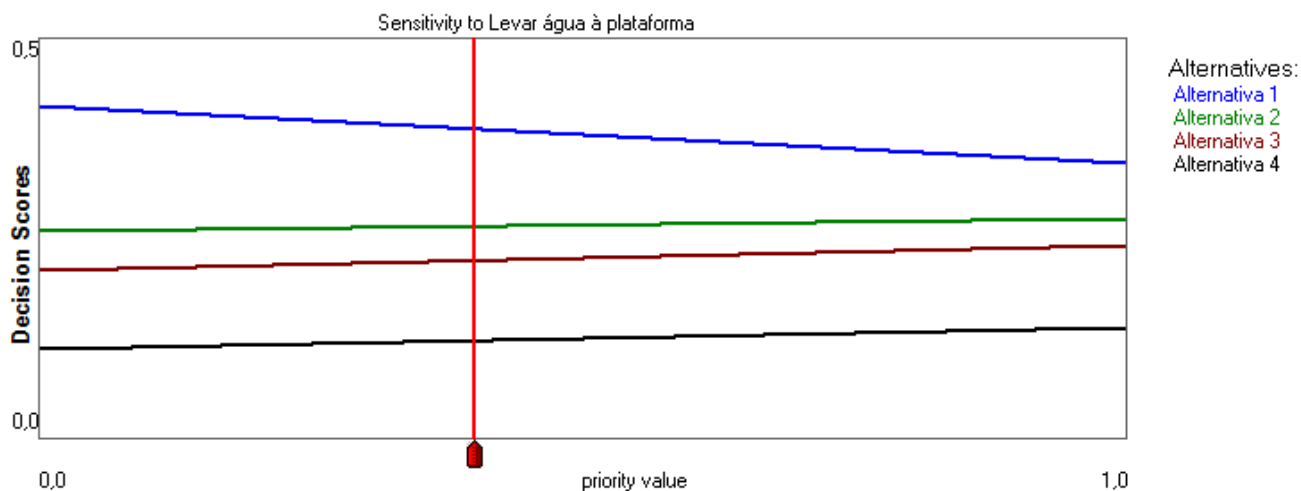


Figura 14 – Sensibilidade da análise quanto à disponibilidade quantitativa de água (CDP)

#### 4.3.6 Avaliação das alternativas: considerações finais

Durante a elaboração do estudo das alternativas quanto à disponibilidade qualitativa de água evidenciou-se que esse critério é dinâmico e afetado por diversos fatores, o que dificulta a sua avaliação. Além disso, a análise da disponibilidade quantitativa de água e do custo das opções, em alguns casos, foi prejudicada pela incerteza ou mesmo pela ausência de dados. O estudo apresentado na Seção 4.1 permite constatar que a opção mais prejudicada por esses fatores foi a Alternativa 1 (implantação de dessalinizador na unidade marítima). Os MMAD, contudo, possibilitam a consideração desses aspectos pelos analistas na atribuição de pontuações às opções, de acordo com o seu conhecimento técnico e experiência. Isso consiste em uma grande vantagem dessas técnicas para a avaliação de questões ambientais, inclusive as que envolvem recursos hídricos, pois essas dificuldades normalmente estão presentes nessas situações.

Sugere-se que em estudos semelhantes os custos de opções já implantadas ou cuja infraestrutura necessária já se encontra em operação sejam baseados em dados reais, o que elevaria o grau de confiabilidade da análise. No presente estudo de caso, devido à dificuldade para a obtenção dessas informações, os custos das alternativas foram estimados com base na literatura científica. Além disso, o custo do espaço necessário para a implantação do dessalinizador na plataforma não foi considerado devido à indisponibilidade dos dados necessários para a sua estimativa.

Outras dificuldades encontradas foram o trabalho necessário para a elaboração do estudo apresentado na Seção 4.1, que foi fundamental para a atribuição de pontuações às opções; e a falta de

participação dos profissionais da empresa estudada, principalmente devido ao envolvimento e ao tempo requeridos para a tarefa.

Por outro lado, a elaboração do estudo possibilitou a agregação de informações qualitativas na análise, o que permitiu que aspectos não mensuráveis ou de difícil mensuração fossem incorporados. Como exemplo cita-se a atribuição de pontuação mediana à Alternativa 1 quanto ao critério custo, apesar da estimativa favorável apresentada, uma vez que o valor do espaço necessário para a implantação do sistema de dessalinização não foi considerado.

Outra vantagem da descrição apresentada na *Seção 4.1* é que ela permitiu uma melhor visualização e compreensão do problema, o que facilita o reconhecimento de soluções não apontadas inicialmente, a identificação de oportunidades de melhoria das alternativas ou a combinação de opções para o desenvolvimento de uma solução mais vantajosa. A Alternativa 4, que consiste na utilização de água subterrânea, foi incluída na análise durante o desenvolvimento do estudo. Assim sendo, alterou-se o resultado da etapa anterior, que consiste na geração de alternativas para a solução do problema, de forma a melhorar o resultado na análise.

Através da comparação do resultado da dissertação com a realidade da empresa estudada observou-se que algumas plataformas obtêm água através de sistemas de dessalinização, ou seja, utiliza-se, nessas unidades, a alternativa mais vantajosa de acordo com a análise realizada. A maioria das unidades, por sua vez, é abastecida com água produzida em estação de tratamento da companhia, solução que consiste na segunda estratégia mais indicada. Ocorre, ainda, em alguns casos, uma complementação entre as duas opções, o que confere maior flexibilidade aos sistemas. As alternativas menos indicadas pelo estudo, que consistem no recebimento de água da companhia de saneamento da região e na captação e desinfecção de água subterrânea não são utilizadas, o que indica que o resultado obtido na análise está de acordo com o julgamento dos especialistas que atuam na empresa.

## Capítulo 4 – Considerações Finais

Para a solução dos problemas com os quais possam se deparar os gestores atuantes no governo e nas empresas possuem à sua disposição algumas ferramentas. Como todas as metodologias possuem vantagens e limitações, caberá aos decisores selecionar a técnica mais adequada para cada caso específico.

A Análise Custo Benefício (ACB) foi proposta inicialmente pelos economistas para a tomada de decisão. Por ser uma técnica antiga a sua moldura conceitual encontra-se bastante detalhada na literatura científica, o que é uma vantagem para o seu emprego. No entanto, a realização da análise é complexa, principalmente devido à elevada demanda de dados e ao trabalho requerido para a quantificação dos custos e dos benefícios associados às alternativas avaliadas.

Além disso, a ACB possui limitações significativas para o estudo de questões ambientais, uma vez que há grande dificuldade para a consideração de aspectos qualitativos na análise. Esses fatores normalmente são descritos no estudo para que sejam avaliados pelos decisores, mas como eles não são incorporados nos valores que representam os custos e os benefícios das opções muitas vezes não são considerados adequadamente.

Para superar esses problemas foram desenvolvidos outros instrumentos. A Análise Custo Efetividade (ACE), uma das principais ferramentas utilizadas, consiste em uma simplificação da ACB. Na aplicação da ACE, após a determinação do objetivo a ser atingido, define-se um índice de custo/efetividade para a comparação das alternativas. Por se tratar de uma análise menos complexa que a ACB há maior facilidade na sua execução. No entanto, a dificuldade na consideração dos aspectos qualitativos permanece.

No presente estudo de caso realizou-se uma simulação para a avaliação de estratégias de abastecimento de água para uma unidade marítima hipotética de produção de óleo e gás. Optou-se pela utilização de Método Multicritério de Análise de Decisão (MMAD), que consiste em alternativa à ACB e à ACE, devido à presença de fatores qualitativos de grande importância para a solução do problema. Esses aspectos foram descritos na *Seção 4.1*, que apresenta o estudo das opções identificadas de acordo com os critérios definidos para a sua avaliação.

O estudo apresentado foi utilizado para a atribuição de pontuações às alternativas consideradas de acordo com os critérios. Apesar da subjetividade envolvida nesse método, ele possibilitou a incorporação de aspectos não mensuráveis e de incertezas quanto aos dados utilizados na análise, o que consiste em uma limitação da ACB e da ACE.

Para a comparação das alternativas, a fim de que as opções mais vantajosas fossem indicadas, foram obtidas pontuações globais para as soluções apresentadas. Para tanto, optou-se pela aplicação de métodos simples para a agregação das avaliações em relação aos critérios, já que a utilização de modelos sofisticados resultaria em uma complexidade desnecessária. Devido à superioridade de uma alternativa sobre as demais a aplicação de técnicas distintas para o tratamento matemático das informações (soma ponderada, produto ponderado e soma ponderada modificada) não modificou o ordenamento da indicação das alternativas. No entanto, como se observaram diferenças nas pontuações finais das opções, conclui-se que a metodologia de agregação pode influenciar o resultado em outras situações, e, por isso, deve-se selecionar o método adequado para cada caso específico.

Observou-se que o reduzido número de critérios considerados facilitou a sua avaliação transversal para a atribuição de pesos relativos, o que melhorou a confiabilidade do resultado da análise em relação à metodologia de comparação par a par sugerida pela *AHP*. A aplicação da mesma escala para a atribuição das pontuações das opções em relação aos critérios reforçou essa vantagem. Além disso, o número de critérios não elevou a incerteza da análise, o que foi confirmado com a realização dos testes de sensibilidade do resultado quanto aos pesos atribuídos aos critérios.

No entanto, em situações mais complexas, onde dificilmente se evidencia a superioridade de uma opção em relação às demais, as análises devem considerar um número suficiente de critérios para que o peso atribuído a um deles não exerça influência significativa sobre o resultado, de forma a evitar a realização de estudos tendenciosos. Outro ponto é que deve ser utilizada uma metodologia que favoreça a consideração transversal dos aspectos considerados e das respectivas faixas de valores para a atribuição de pontuações.

Constatou-se, no entanto, que a aplicação dos MMAD apresenta custo elevado. Isso ocorre devido à dificuldade normalmente encontrada para a obtenção das informações necessárias para a avaliação das alternativas e ao tempo requerido para a atribuição de pontuações às opções, etapa que deve ser realizada por profissionais com conhecimento técnico e experiência na área de estudo.

Além disso, na etapa da avaliação das opções observou-se que os critérios disponibilidade quantitativa e disponibilidade qualitativa de água exerceram pouca influência sobre o resultado da análise. Como o custo foi o critério preponderante poderia ter sido realizada uma Análise Custo Efetividade, técnica que apresenta menor custo de aplicação que os MMAD.

No entanto, essa constatação só foi possível após a adequada estruturação e compreensão do problema avaliado, o que ocorreu por meio da aplicação da metodologia proposta. Dessa forma

recomenda-se a utilização da técnica para os casos em que a situação não for bem entendida pelos analistas e decisores, uma vez que o entendimento do problema é fundamental para a sua solução.

Ressalta-se que a generalização do resultado da análise apresentada deve ser criteriosa, uma vez que ele é dependente: a) das alternativas consideradas; b) dos critérios selecionados; c) do estudo apresentado na *Seção 4.1*, o qual foi utilizado para a avaliação das opções; e d) da atribuição de pontuações às alternativas. Em uma situação real, as saídas da análise seriam influenciadas ainda pelas preferências do decisor (ou dos decisores), e conseqüentemente, pela sua propensão a aceitar ou rejeitar riscos; pelo processo de negociação estabelecido entre os envolvidos e pelo método de agregação utilizado para o tratamento matemático das informações. Portanto, cada caso específico deve ser avaliado individualmente.

Destaca-se, por fim, que a água é um recurso finito e fundamental à sobrevivência humana, e, por isso, as fontes exploradas devem ser utilizadas com racionalidade. Assim, o reuso da água injetada para a manutenção da pressão dos reservatórios de óleo e gás e o combate ao desperdício nos outros usos da indústria do petróleo devem ser práticas difundidas em todas as empresas do setor.

## Referências Bibliográficas

BANA E COSTA, C. A. e VANSNICK, J. C. Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model. **Journal of Multi-criteria Decision Analysis**, v. 6, issue 2, p. 107–114, mar. 1997. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/%28SICI%291099-1360%28199703%296:2%3C107::AID-MCDA147%3E3.0.CO;2-1/abstract>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

BELTON, V. e STEWART, T.J. Implementation of MCDA: Practical issues and insights. In: \_\_\_\_\_. **Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach**. 2. ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. chap. 9, p. 261-292. ISBN 0-7923-7505-X.

BORTOT, S. e PEREIRA, R.A.M. Inconsistency and non-additive capacities: The Analytic Hierarchy Process in the framework of Choquet integration. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 213, p. 6-26, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165011412003521>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

BOWLES, D.S.; ANDERSON, L.R. e GLOVER, T.F. **A role for risk assessment in damsafety management**. In: Broch, Lysne, Flatabo, Helland-Hansen, editors. Proceedings of the 3rd International Conference HYDROPOWER 97, Trondheim, Norway. Rotterdam: Balkema; 1997.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm)>. Acesso em: 24 fev. 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/PORTARIA%20No-%202.914,%20DE%2012%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202011.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Resolução n. 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 abr. 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 24 fev. 2014.



BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.HTM)>. Acesso em: 24 fev. 2014.

BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA). **Abastecimento de água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento**. Guia do profissional em treinamento: nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). – Salvador: ReCESA, 2008. 139p. Nota: Realização do NURENE – Núcleo Regional Nordeste; coordenação de Viviana Maria Zanta, José Fernando Thomé Jucá, Heber Pimentel Gomes e Marco Aurélio Holanda de Castro. Disponível em: <[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/livros/gerenciamento\\_perdas/livro\\_gerenciamento\\_perdas.pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/livros/gerenciamento_perdas/livro_gerenciamento_perdas.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2013: Ano base 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013. Capítulo 1 – Análises Energéticas e Dados Agregados. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2013.aspx>>. Acesso em: 22 fev. 2014.

CAMPOS, R.B. e PINHEIRO; J.C.V. Análise de custo de dessalinização de água em comunidades rurais cearenses. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 36, n. 4, p.604-625, out-dez. 2005. Disponível em: <[http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/3949/1/2005\\_art\\_rtcampos.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/3949/1/2005_art_rtcampos.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2014.

CANCER, V. e MULEJ, M. Multi-criteria decision making in creative problem solving. **Kybernetes**, v. 42, n. 1, p.67-81, 2013. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=0368-492X&volume=42&issue=1&articleid=17072896&show=abstract>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

CEDAE. **Estrutura tarifária – 2013**. Disponível em: <[http://www.cedae.com.br/div/Estrutura\\_Tarifaria\\_2013.pdf](http://www.cedae.com.br/div/Estrutura_Tarifaria_2013.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2014.

CHABARIBERY, D. *et al.* Recuperação de mata ciliar: sistema de formação de floresta nativa em propriedades familiares. **Revista Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n.6, jun. 2008. Disponível em: <<ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/publicacoes/tec1-0608.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2014.

COVOS, W. O uso da tradução para reduzir custos no setor de energia: Como ajudar seu cliente a economizar aplicando os princípios da localização na indústria petrolífera. **Ccaps**, n. 15, mai. 2005. Disponível em: <[http://www.ccaps.net/newsletter/04-05/art\\_1pt.htm](http://www.ccaps.net/newsletter/04-05/art_1pt.htm)>. Acesso em: 22 fev. 2014.

DIAKOULAKI, D. e MAVROTAS, G. **Stakeholder Workshops & Multicriteria Analysis**. In: SusTools - Tools for Sustainability: Development and application of an integrated framework. Contrato nº EVG3-CT-2002-80010. Relatório final do pacote de trabalho n. 6. Grécia, Universidade Técnica Nacional de Atenas, 30 dez. 2004. Disponível em: <<http://www.cenerg.ensmp.fr/english/themes/impact/papers/WP6%20MCA%20Stakeholders%20FinalReport+Q.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2014.

DIAS, E.P. Conceitos de gestão e administração: uma revisão crítica. **Revista Eletrônica de Administração – Facef**, v.01, e. 01, jul-dez. 2002. Disponível em: <<http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea/article/view/160/16>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

DUNNING, D.J.; ROSS, Q.E.; MERKHOFFER, M.W. Multiattribute utility analysis for addressing Section 316(b) of the Clean Water Act. **Environmental Science Policy**, v. 3, suplemento 1, p.7–14 (8), 1 set. 2000. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/els/14629011/2000/00000003/90000001/art00022>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

EPA - United States Environmental Protection Agency. **A Guide for Cost-Effectiveness and Cost-Benefit Analysis of State and Local Ground Water Protection Programs**. Washington (DC): EPA, 1993.

FERNANDES, C. H. **Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social – um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão – “MACBETH”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1996.

GARDINER, P.J. e EDWARDS, W. Public values: Multiattribute-utility measurement for social decision making, in: Human Judgment and Decision Processes. In: KAPLAN, M.; SCHWARTZ, S. (Org.). **Human judgment and decision processes**. Nova York: Academic Press, 1975, p. 1-37.

GARTNER, I.R. e GAMA, M.L.S. Avaliação Multicriterial dos Impactos Ambientais da Suinocultura no Distrito Federal: Um Estudo de Caso. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 148-161, 2005. Disponível em: <<http://revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/196/193>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

GOMES, L. F. M. e MOREIRA, A. M. M. Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério. **Revista da Ciência e Tecnologia - Recitec**, Recife, v. 2, n. 2, p. 117-139, 1998.

HAIJAGHA, S.H.R.; MAHDIRAJI, H.A. e HASHEMI, S.S. Multi-objective linear programming with interval coefficients: a fuzzy set based approach. **Kybernetes**, v.42, n.3, p.482-496, 2013. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=17086842>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

HAJKOWICZ, S. e COLLINS, K. A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. **Water Resources Management**, v. 21, p. 1553-1566, 2007.

HANLEY, N. e SPASH, C. L. **Cost-Benefit Analysis and the Environment**. Vermont (USA) e Hants (UK): Edward Elgar Publishing Company, 1993.

HEINZERLING, L. e ACKERMAN, F. **Cost-benefit analysis in environmental protection**. Georgetown Environmental Law and Policy Institute, Georgetown University Press, Washington, DC, 2002.

JOERIN *et al.* Using multi-criteria decision analysis to assess the vulnerability of drinking water utilities. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 313-330, 2010.

KHADAM, I.; KALUARACHCHI, J.J. Applicability of risk-based management and the need for risk-based economic decision analysis at hazardous waste contaminated sites. **Environment International**, v. 29, p. 503-519, 2003.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. **Decisions with Multiple Objectives: preferences and value trade offs**. Nova York: Wiley, 1976.

KOLLAT, J.B. e REED, P.M. Comparing state-of-the-art evolutionary multi-objective algorithms for long-term groundwater monitoring design. **Advances in Water Resources**, v. 29, p. 792-807, 2006.

LANGSTON, C. The impact of criterion weights in facilities management decision making: an Australian case study. **Facilities**, v. 31, n. 7/8, p. 270-289, 2013. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=0263-2772&volume=31&issue=7/8&articleid=17088296&show=abstract>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

LARANJEIRA, C.P.F. **Estudo numérico dos escoamentos em canais de dessalinização por osmose**. 2010. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Trás-os-Montes e Alto Douro, out. 2010. Disponível em: <[http://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/560/1/msc\\_cpflaranjeira.pdf](http://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/560/1/msc_cpflaranjeira.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2014.

LERMONTOV, A. *et al.* Análise econômica da dessalinização de água do mar por osmose inversa visando abastecimento público no Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 2011, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2011. Disponível em: <<http://www.grupoaguasdobrasil.com.br/wp-content/uploads/2013/01/artigo-dessanilizacao.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

LI, H. *et al.* An entry mode decision-making model for the international expansion of construction enterprises. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v.20, n. 2, p. 160-180, 2013. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=0969-9988&volume=20&issue=2&articleid=17078166&show=abstract>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

LIN, S.W. An investigation of the range sensitivity of attribute weight in the analytic hierarchy process. **Journal of Modelling in Management**, v. 8, n.1, p.65-80, 2013. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=1746-5664&volume=8&issue=1&articleid=17083647&show=abstract>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

MENEZES, J.M.; SILVA JÚNIOR, G.D. e PRADO, R.B. Índice de Qualidade de Água (IQACCME) aplicado à avaliação de aquíferos do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 27 (2), p. 79-92, 2013. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27364>>. Acesso em: 28 fev. 2014.

MUELLER, C. **Os economistas e as inter-relações entre o sistema econômico e o meio-ambiente**. NEPAMA: Brasília, 2004. Departamento de Economia - UnB. 304p.

NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. A. e ARRUDA, F. S. T. Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ciência ou Empiricismo. **Caderno de Pesquisas em Desenvolvimento Agrícola e Economia do Meio Ambiente**, v. 002. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Economia, NEPAMA, Julho de 1998.

PEARCE, D.W.; ATINKSON, G. e MOURATO, S. **Cost-benefit analysis and the environment: recent developments Organizations for Economic Cooperation and Development (OECD)**, Paris, 2006.

PEREIRA, R.R. **A análise custo efetividade na gestão econômica do meio ambiente**. Item 3.2 – Técnicas utilizadas no processo decisório da política ambiental. Dissertação de mestrado do CEEMA, UnB, p. 32-43, 1999.

PINDYCK, R.S. e RUBINFELD, D.L. **Microeconomia**. São Paulo: Makron Books, 1994. 968 p.

PINHEIRO, M.R.C. **Avaliação de usos preponderantes e qualidade da água como subsídios para os instrumentos de gestão dos recursos hídricos aplicada à bacia hidrográfica do Rio Macaé**. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos, Campos dos Goytacazes, 2008.

POULIN, P. *et al.* Multi-criteria development and incorporation into decision tools for health technology adoption. **Journal of Health Organization and Management**, v. 27, n. 2, p. 246-265, 2013. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/search.htm?ct=jnl&fd1=all&bl2=and&st2=%221477-7266%22&fd2=isbn&st1=Multi-criteria+development+and+incorporation+into+decision+tools+for+health+technology+adoption>>. Acesso em: 24 fev. 2014.

PRATO, T. Multiple-attribute evaluation of ecosystem management for the Missouri River system. **Ecological Economics**, v. 45, p. 297–309, 2003.

PREBLE, J. F. Public sector use of the Delphi technique. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 23(1), p. 75-88, 1983.

RENN, O. Decision analytic tools for resolving uncertainty in the energy debate. **Nuclear engineering and design**, Amsterdã, v. 93, p. 167-179, 1986. Disponível em: <<http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2010/5314/pdf/ren39.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2014.

RIO DE JANEIRO. Lei n. 3.239, de 2 de agosto de 1999. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII; e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, RJ, 8 abr. 1999. Disponível em: <<http://gov-rj.jusbrasil.com.br/legislacao/90621/lei-3239-99>>. Acesso em: 28 fev. 2014.

RIO DE JANEIRO. SECRETARIA ESTADUAL DO AMBIENTE (SEA). **Elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé/Ostras: Relatório do diagnóstico das disponibilidades hídricas da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras (RD-04)** – Versão final revisada, maio de 2013. Disponível em: <<http://www.planomacaeostras.com/relatorios/EG0143-R-PRH-RD-04-01-04.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2014.

ROSA, R.G.; MENDES, R.L.R e COSTA, T.C.D. Comparativo de custos de utilização de águas subterrâneas e águas pluviais para abastecimento de água – Caso da Ilha Grande em Belém. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16., ENCONTRO NACIONAL DE

PERFURADORES DE POÇOS, 17., 2010, São Luís. **Anais...** São Luís: ABAS, 2010. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23117>>. Acesso em: 28 fev. 2014.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, Holanda, v. 48, p. 9-26, 1990. Disponível em:

<<http://www.ida.liu.se/~TDDD06/literature/saaty.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2014.

SOARES, S.R. Análise Multicritério e Gestão Ambiental. In: PHILIPPI JR. A.; ROMÉRO, M.A.;

BRUNA, G.C. (Org.). **Curso de Gestão Ambiental**. 2 ed. Barueri: Manole, 2004. cap. 28, p. 971-999.

TAVARES, J. H. S. **Estudo de disponibilidade hídrica do baixo curso do Rio Macaé utilizando modelagem computacional**. 2011. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé, 2011. Disponível em: <<http://www.ppea.iff.edu.br/prod-cientifica/teses-dissertacoes/2011/Jose%20Henrique%20da%20Silva%20Tavares.pdf/view>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

VILAS BOAS, C.L. **Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicada ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da Barragem do Ribeirão João Leite**. 2006. 145 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Universidade de Brasília, Brasília, nov. 2006.

Disponível em:

<[http://www.ceemaunb.com/mestrado/index.php?option=com\\_content&view=article&id=65&Itemid=48](http://www.ceemaunb.com/mestrado/index.php?option=com_content&view=article&id=65&Itemid=48)>. Acesso em: 25 fev. 2014.

WILLAN, A. e BRIGGS, A. **Statistical analysis of cost-effectiveness data**. John Wiley and Sons, New York, 2006.

## ANEXO A – MODELAGEM DO PROBLEMA NO CDP

Quando o *Criterion Decision Plus (CDP)* é inicializado, é apresentada uma tela em branco para a estruturação do problema de forma gráfica, etapa que o programa denomina de “*brainstorming*”. À direita da tela há um espaço para a inserção das alternativas geradas, como se observa na Figura 15.

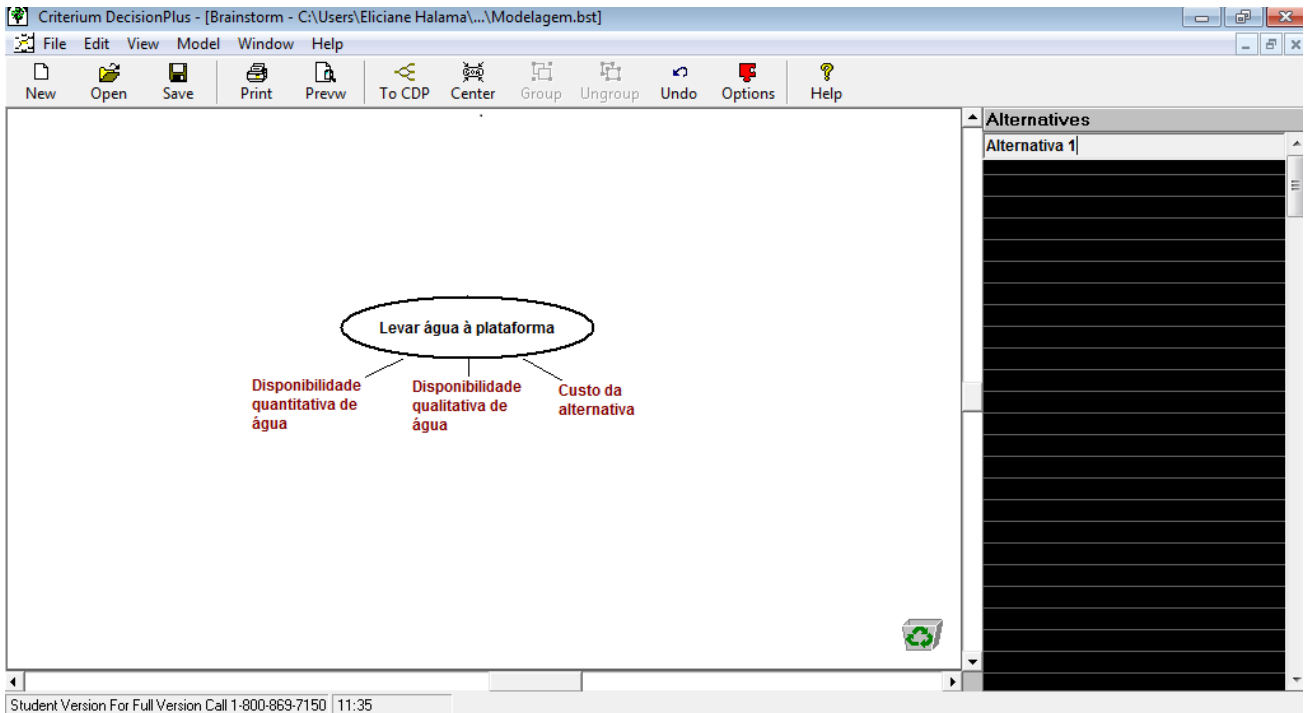


Figura 15 – Estruturação do “*brainstorming*” (CDP)

A Figura 16 mostra a opção que deve ser selecionada no menu para gerar a hierarquia, que consiste no próximo passo para a modelagem computacional. É aberta, então, uma janela para que seja inserido o nome do trabalho e uma nota para o esclarecimento da questão a ser avaliada, como se observa nas Figuras 17 e 18. A hierarquia gerada pelo programa após a inserção das informações é ilustrada na Figura 19.

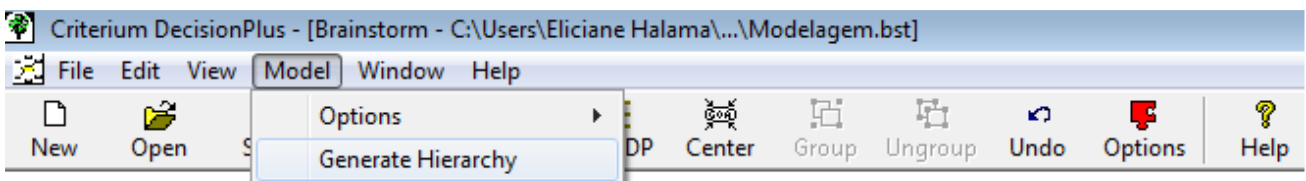


Figura 16 – Caminho no CDP para gerar hierarquia

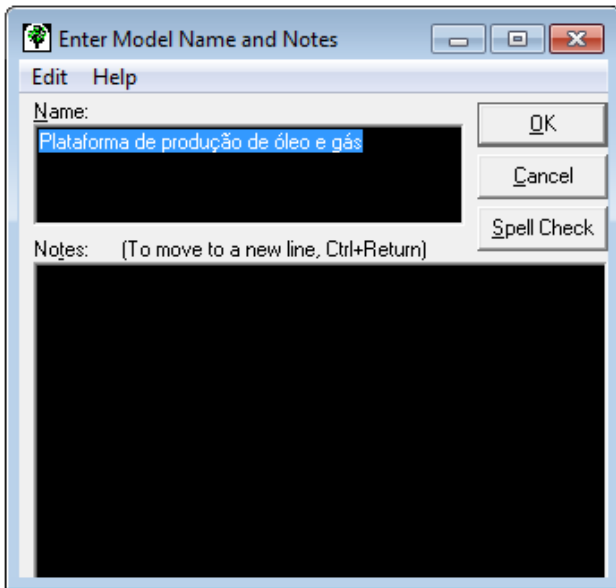


Figura 17 – Inserção do nome do trabalho (CDP)

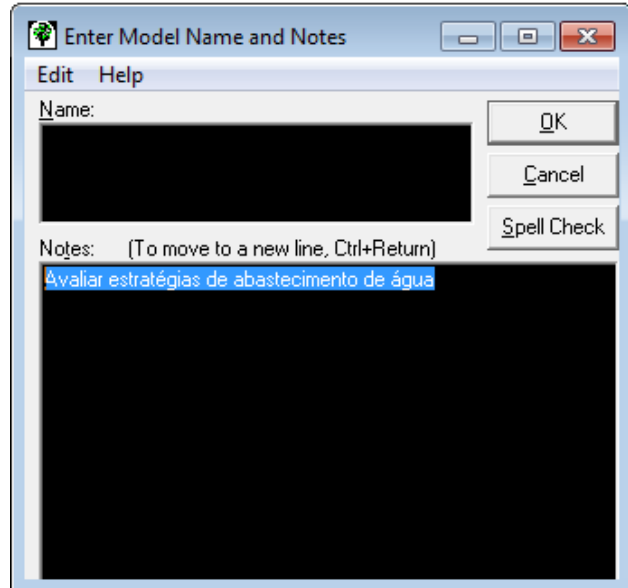


Figura 18 – Inserção de comentário referente ao trabalho (CDP)

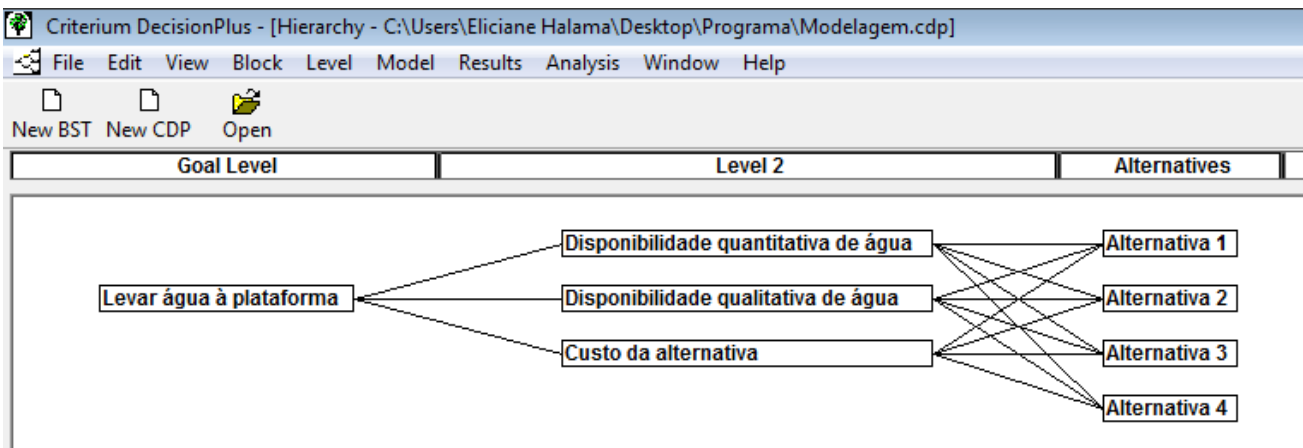


Figura 19 – Hierarquia gerada (CDP)

É selecionada, então, a técnica para a agregação das avaliações das alternativas de acordo com os critérios, como ilustrado na Figura 20. O próximo passo consiste na inserção, no programa, dos pesos dos critérios e das avaliações das alternativas para a agregação. Para isso, seleciona-se a meta do problema na hierarquia, que, no caso, é “levar água à plataforma”, de forma com que o quadro com o texto correspondente fique amarelo (Figura 21) e aciona-se a opção “rate subcriteria” no menu “block” (Figura 22).

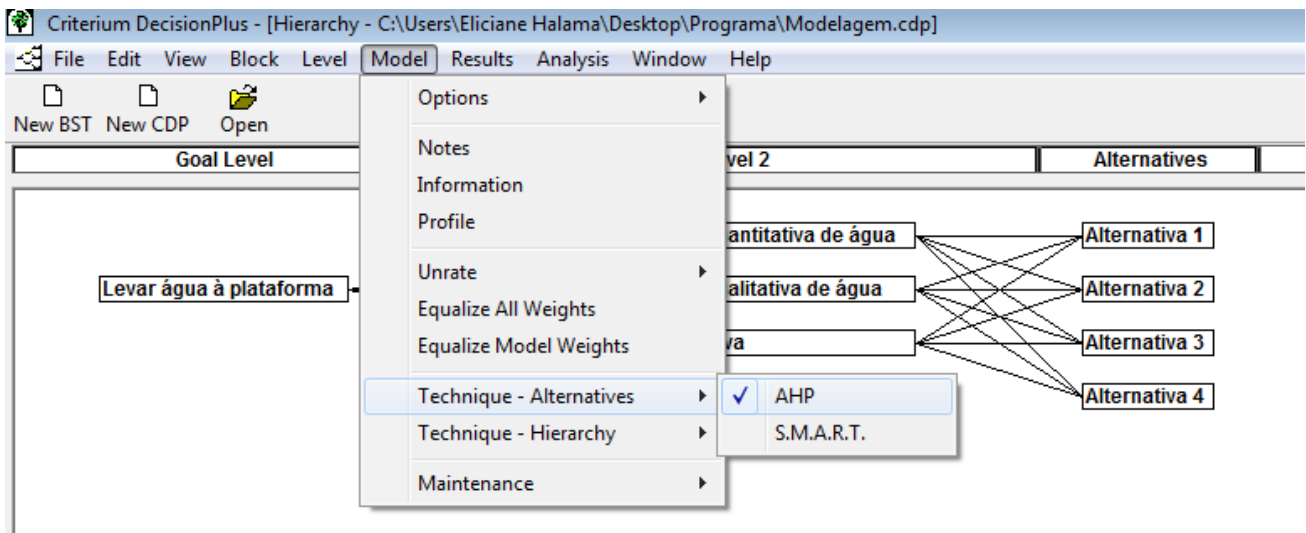


Figura 20 – Seleção da técnica para a agregação (CDP)

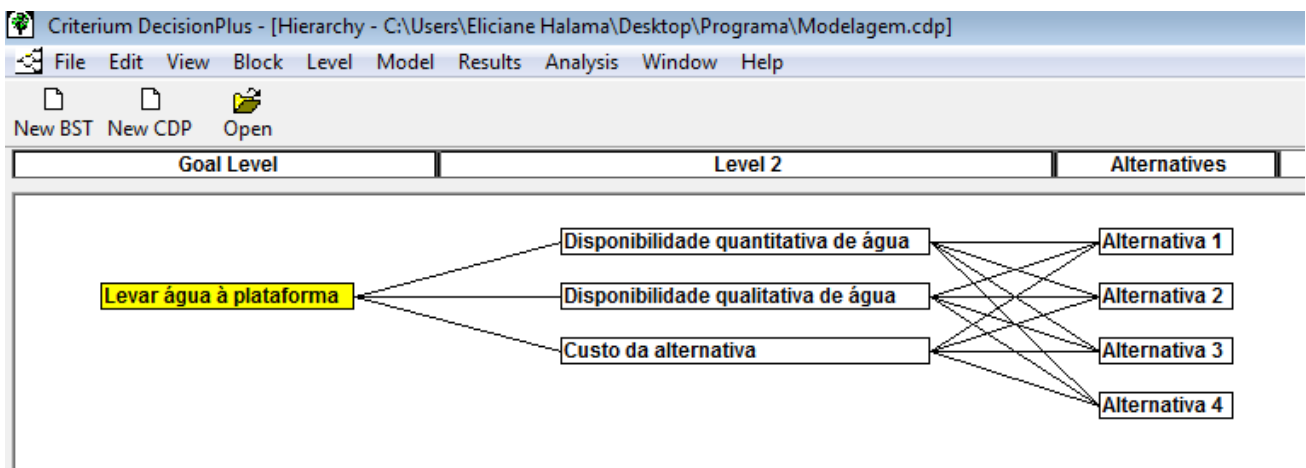


Figura 21 – Seleção da meta da análise (CDP)



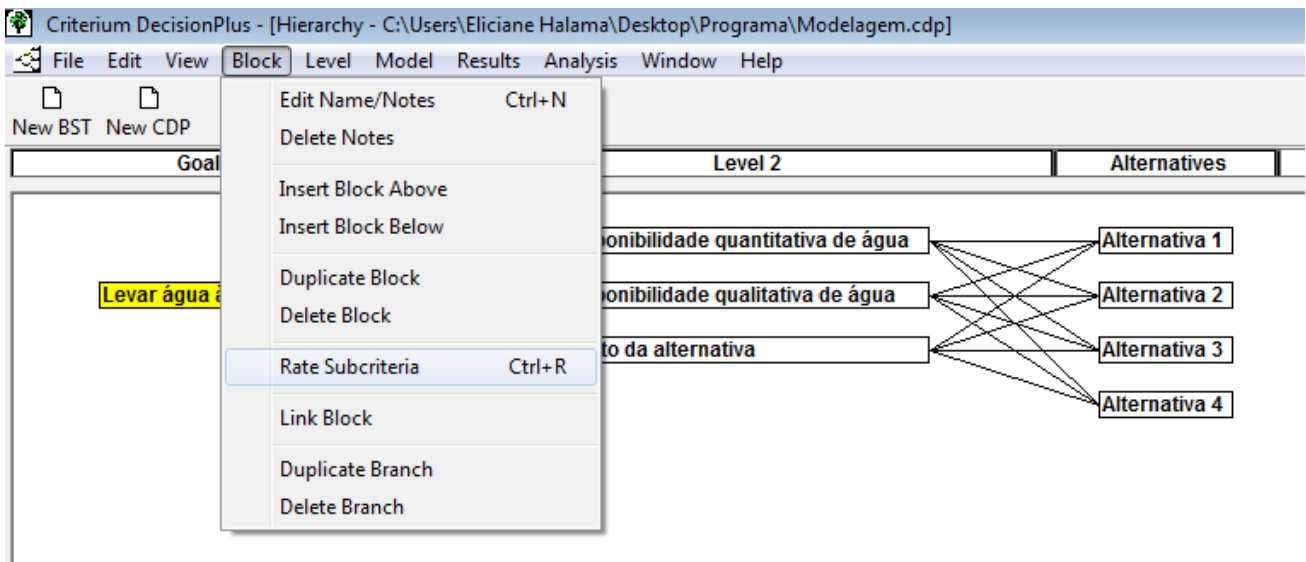


Figura 22 – Caminho no CDP para a inserção dos dados numéricos

O método utilizado para a agregação das pontuações e comparação das alternativas foi o método direto, como ilustrado na Figura 23. Através da opção “*assign scale*”, visualizada na ilustração, foi inserida a escala numérica para a inserção dos pesos dos critérios (Figura 24). Como nesse estudo os pesos foram atribuídos na escala decimal, para que a sua soma fosse igual a um, a escala definida como “*probability*” pelo programa é a que melhor se adapta à análise.

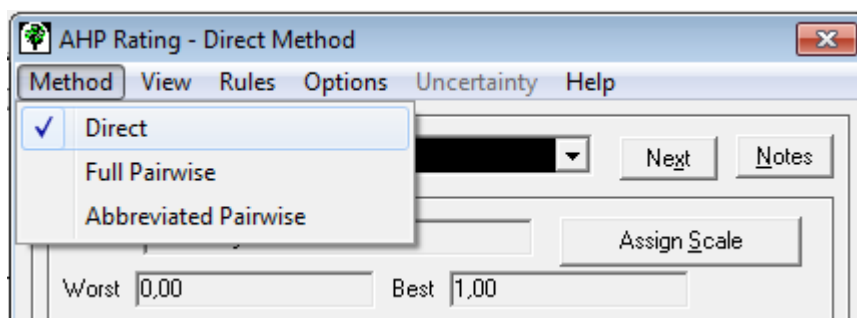


Figura 23 – Seleção do método para a comparação das alternativas (CDP)

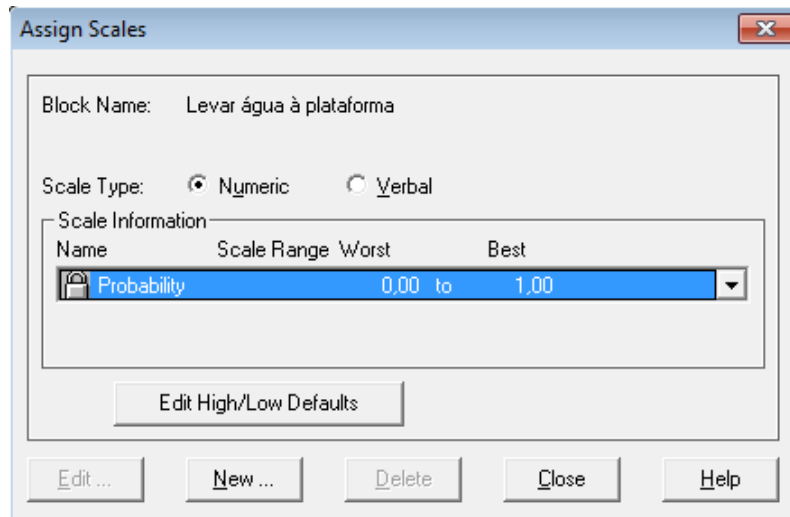


Figura 24 – Escala para a inserção dos pesos dos critérios (CDP)

Assim sendo, a inserção dos pesos dos critérios é visualizada na Figura 25. Após a digitação dos valores selecionou-se a opção “*next*” para que fossem incluídas as avaliações das opções. Como as pontuações foram atribuídas em uma faixa de 0 a 10, a escala mais apropriada para o tratamento dos dados, que foi selecionada através do botão “*assing scale*”, é a escala numérica que o programa denomina de “*0-10*”, como ilustrado na Figura 26.

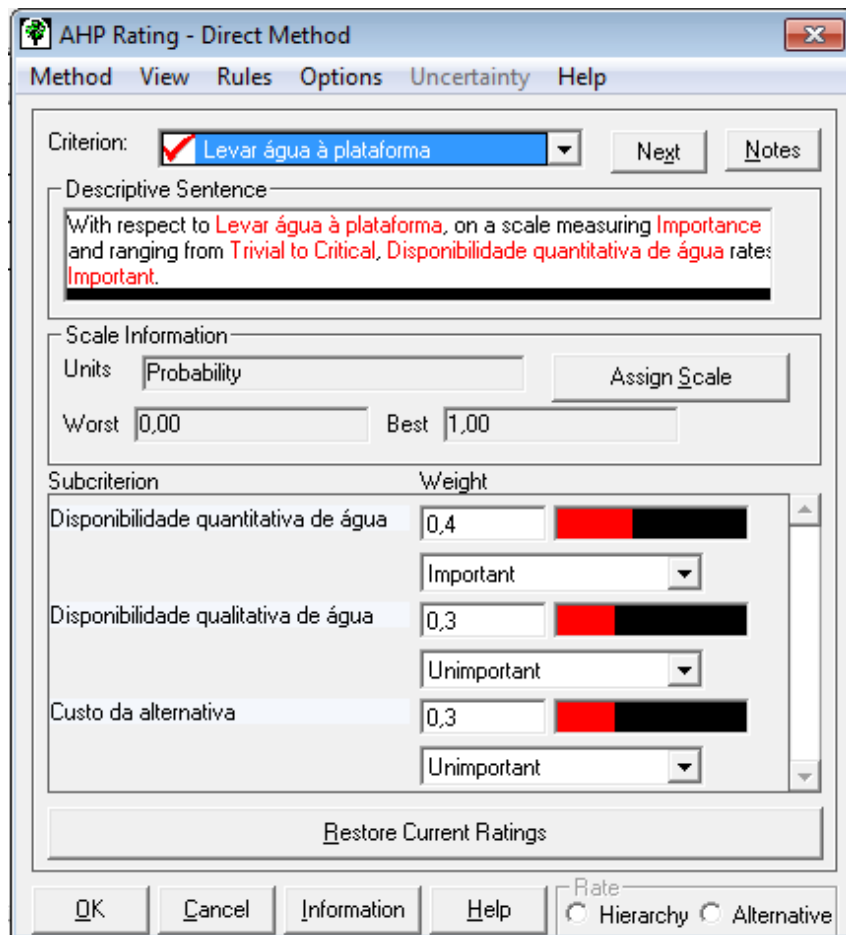


Figura 25 – Inserção dos pesos dos critérios (CDP)

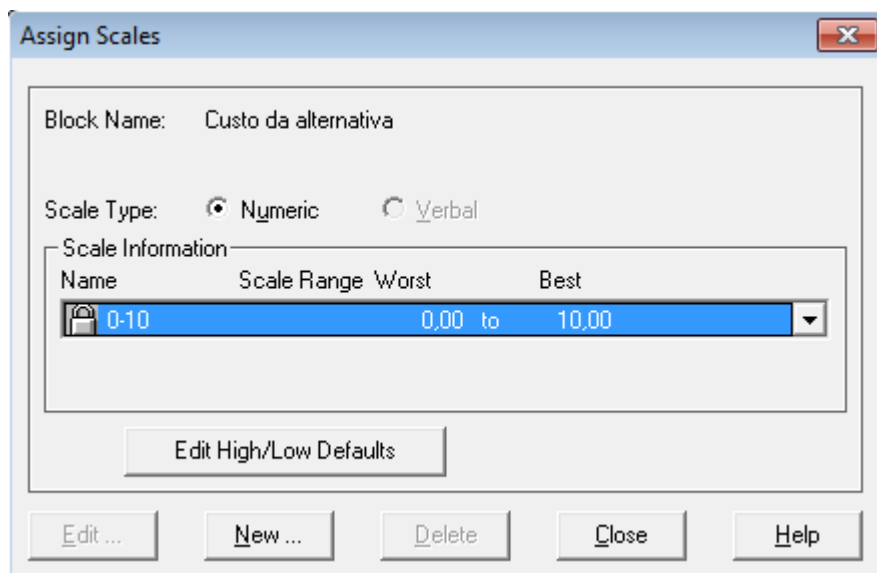


Figura 26 – Escala para a avaliação das alternativas (CDP)

Foram introduzidas, então, as pontuações das opções de acordo com o custo, como se observa na Figura 27. Em seguida, foi selecionada a opção “next” e escolhida a escala “0-10” através do botão “assign scale” para a inclusão da avaliação das alternativas quanto à disponibilidade qualitativa de água (Figura 28), e o mesmo procedimento foi utilizado para a inserção dos dados referentes à disponibilidade quantitativa de água (Figura 29). Após essa etapa, ao se selecionar o botão “next” apareceu a mensagem apresentada na Figura 30, que indica que todos os dados necessários para a modelagem, de acordo com a hierarquia estabelecida, já foram inseridos no sistema.

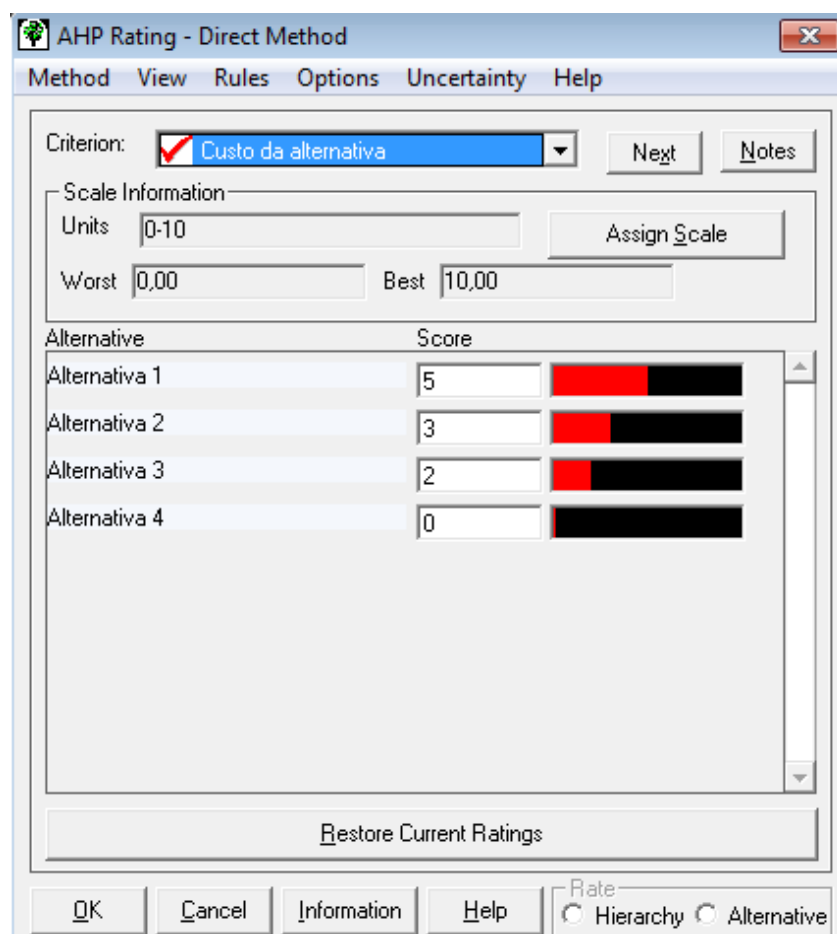


Figura 27 – Avaliação das alternativas quanto ao custo (CDP)

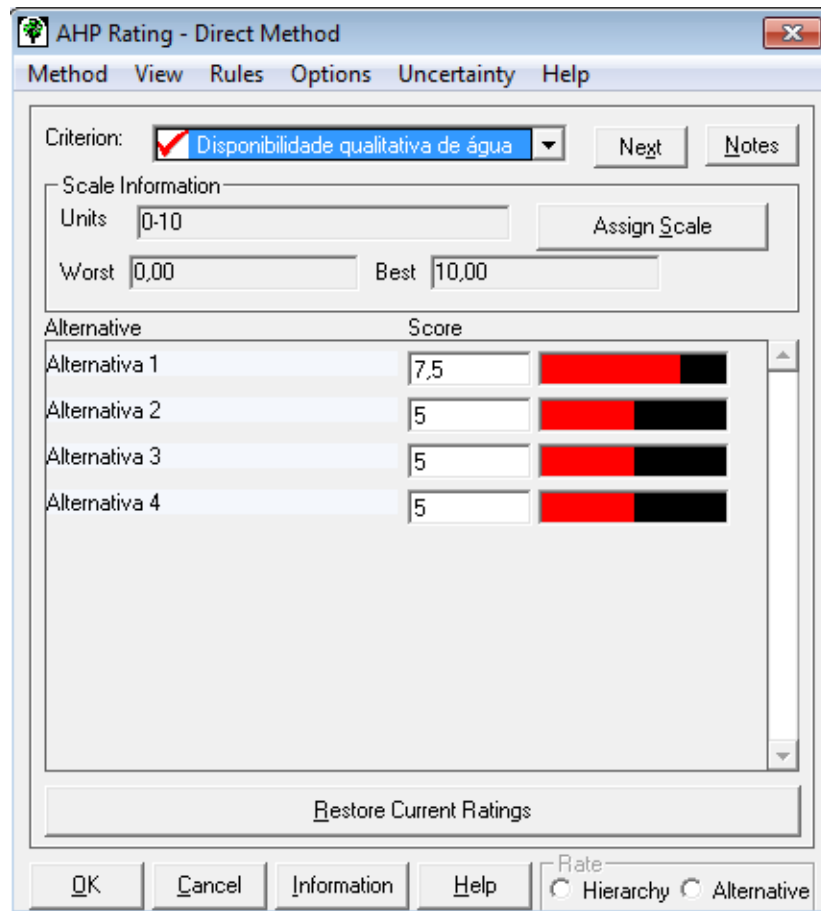


Figura 28 – Avaliação das alternativas quanto à disponibilidade qualitativa de água (CDP)

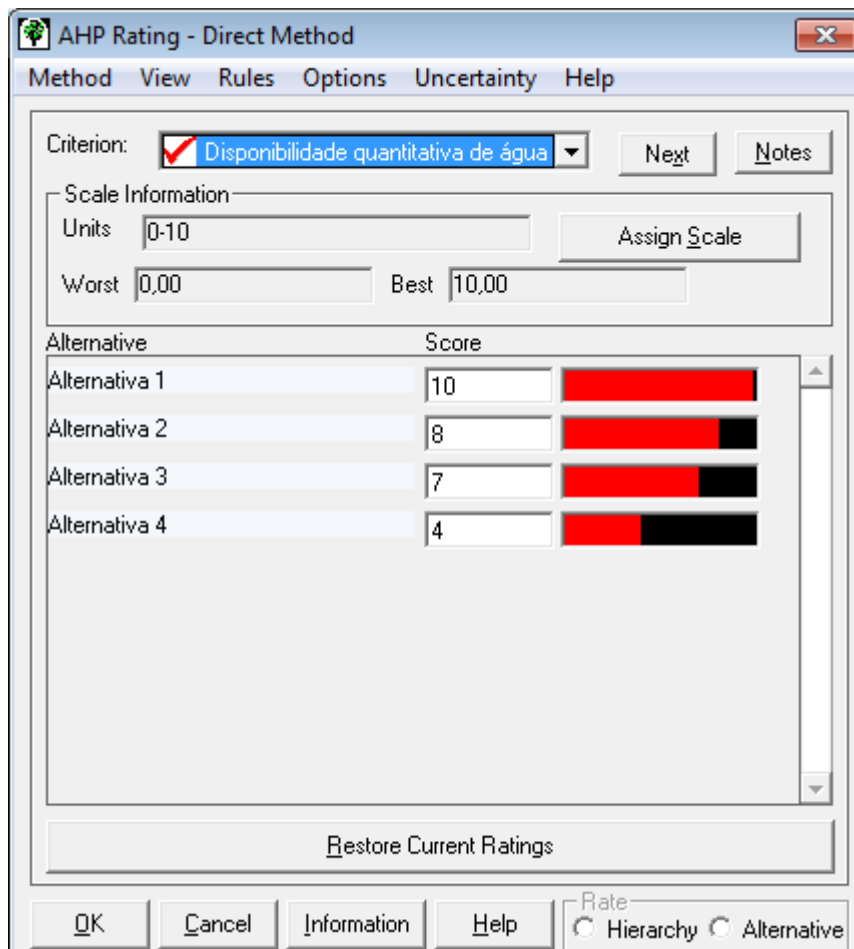


Figura 29 – Avaliação das alternativas quanto à disponibilidade quantitativa de água (CDP)

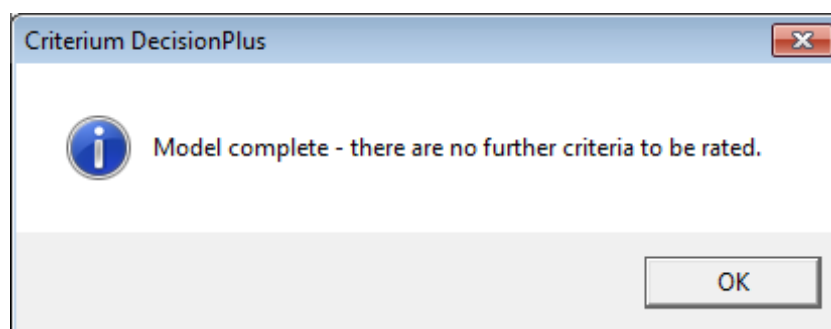


Figura 30 – Finalização da inserção dos dados numéricos (CDP)

Após a inserção dos dados numéricos o programa realizou automaticamente a agregação das avaliações. O caminho no menu para a exibição gráfica do resultado e o gráfico visualizado são apresentados nas Figuras 31 e 32, respectivamente. A Figura 32 indica, também, a opção a ser selecionada no menu para a apresentação da planilha com os dados gerados, que é ilustrada na Figura 33.

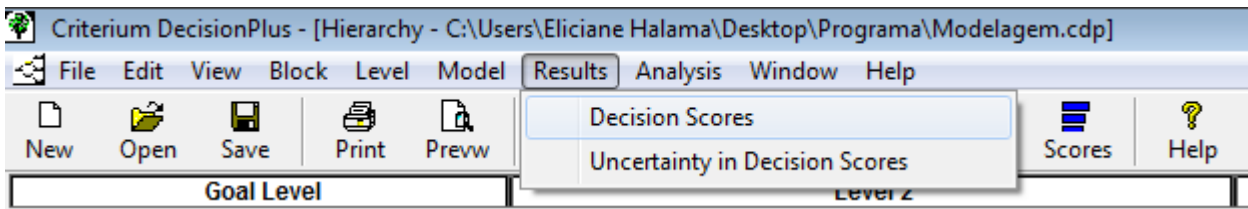


Figura 31 – Caminho no CDP para a exibição gráfica do resultado

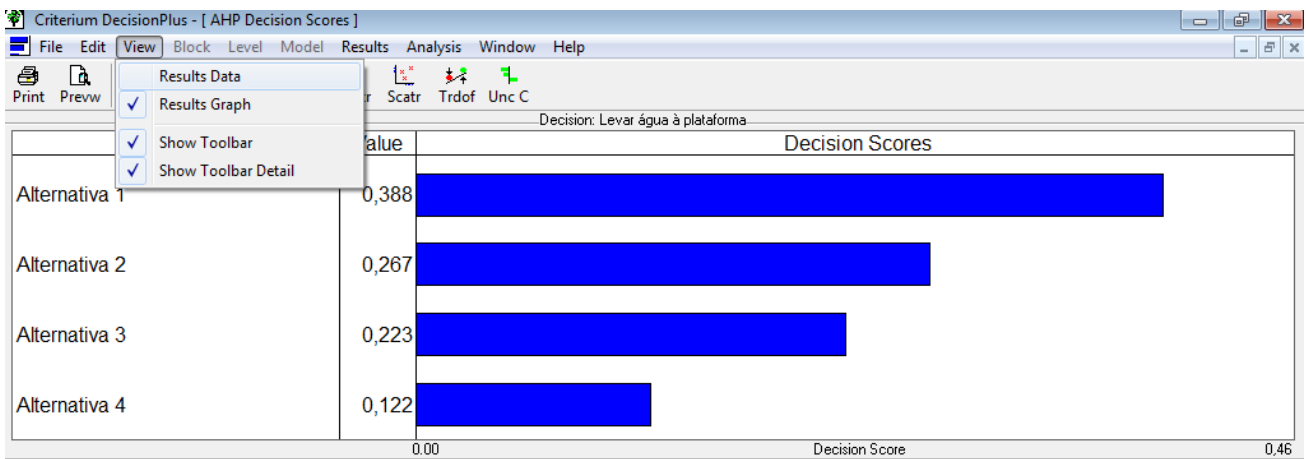


Figura 32 – Gráfico com o resultado no CDP e caminho para a exibição da planilha de dados

| Lowest Level                         | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Alternativa 4 | Model |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|
| Disponibilidade quantitativa de água | 0,345         | 0,276         | 0,241         | 0,138         | 0,400 |
| Disponibilidade qualitativa de água  | 0,333         | 0,222         | 0,222         | 0,222         | 0,300 |
| Custo da alternativa                 | 0,500         | 0,300         | 0,200         | 0,000         | 0,300 |
| Results                              | 0,388         | 0,267         | 0,223         | 0,122         |       |

Figura 33 – Planilha com os dados gerados (CDP)

O próximo passo da avaliação consistiu na análise de sensibilidade, que é realizada através do menu “analysis”, como mostrado na Figura 34. Após a seleção da opção correspondente o programa exibe uma tela em branco e um quadro denominado “critically”, que contém o botão “update”. O acionamento da opção resulta na exibição gráfica da sensibilidade quanto ao critério mais crítico, como se observa na Figura 35. Utilizou-se, então, a opção “next” para que fossem apresentadas as sensibilidades da análise quanto aos demais critérios (Figura 36 e 37). Quando todos os critérios já

havia sido avaliados, ao se acionar o botão “next” foi exibida a mensagem apresentada na Figura 38, que indica o término da análise de sensibilidade.

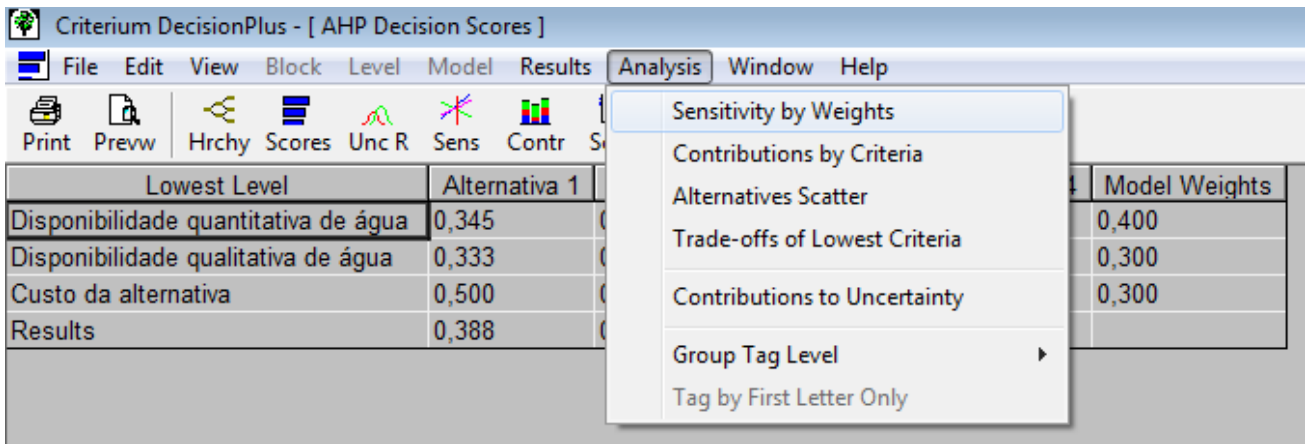


Figura 34 – Caminho no CDP para a realização da análise de sensibilidade

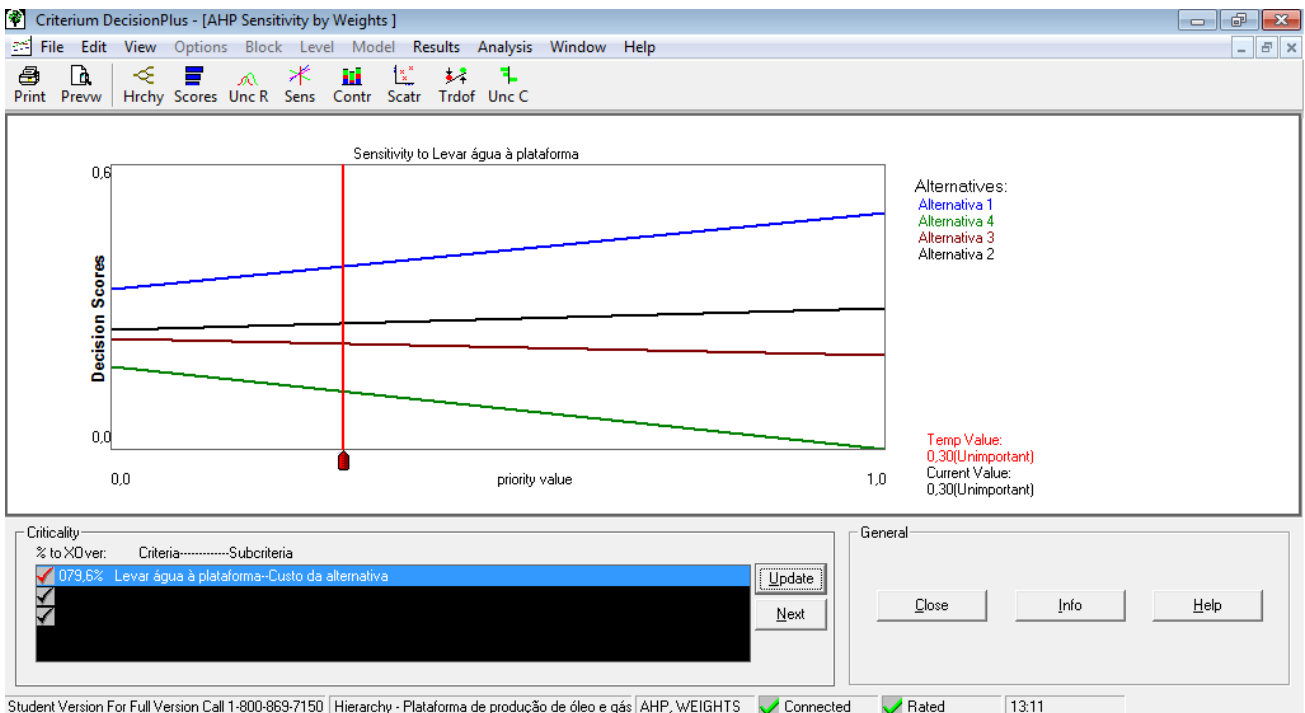


Figura 35 – Sensibilidade quanto ao custo da alternativa (CDP)



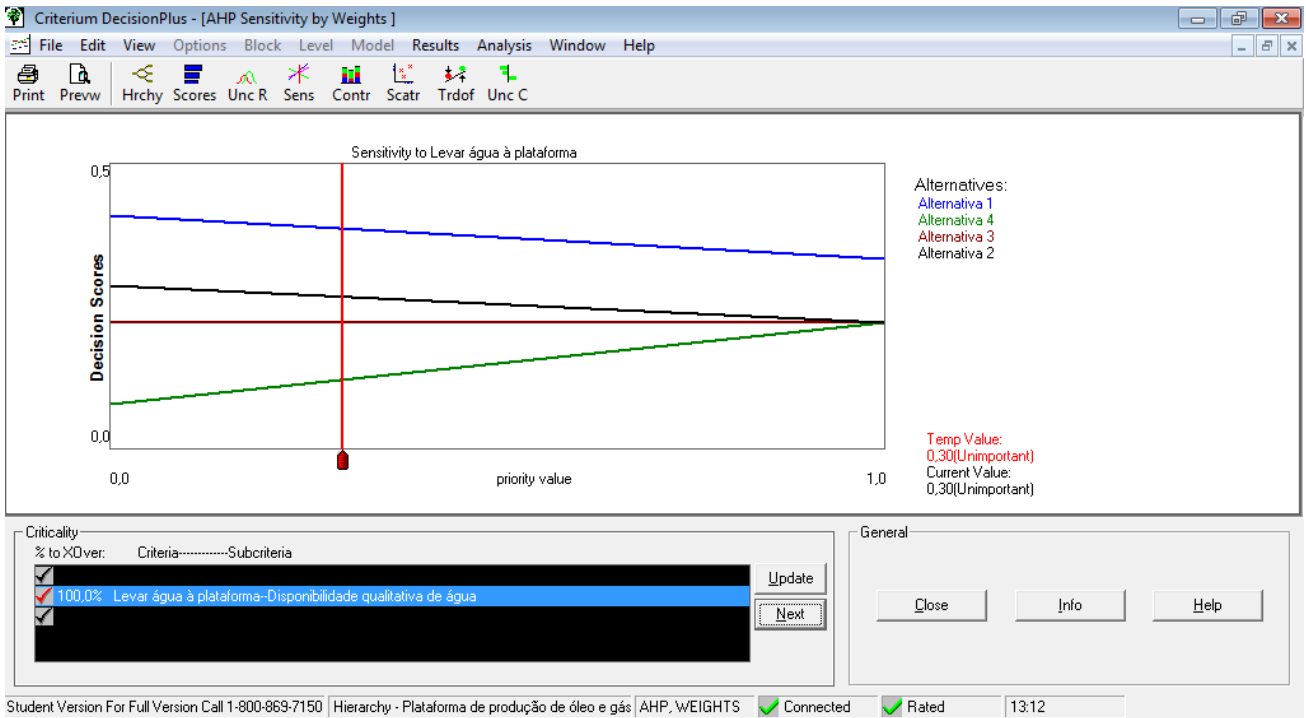


Figura 36 – Sensibilidade quanto à disponibilidade qualitativa de água (CDP)

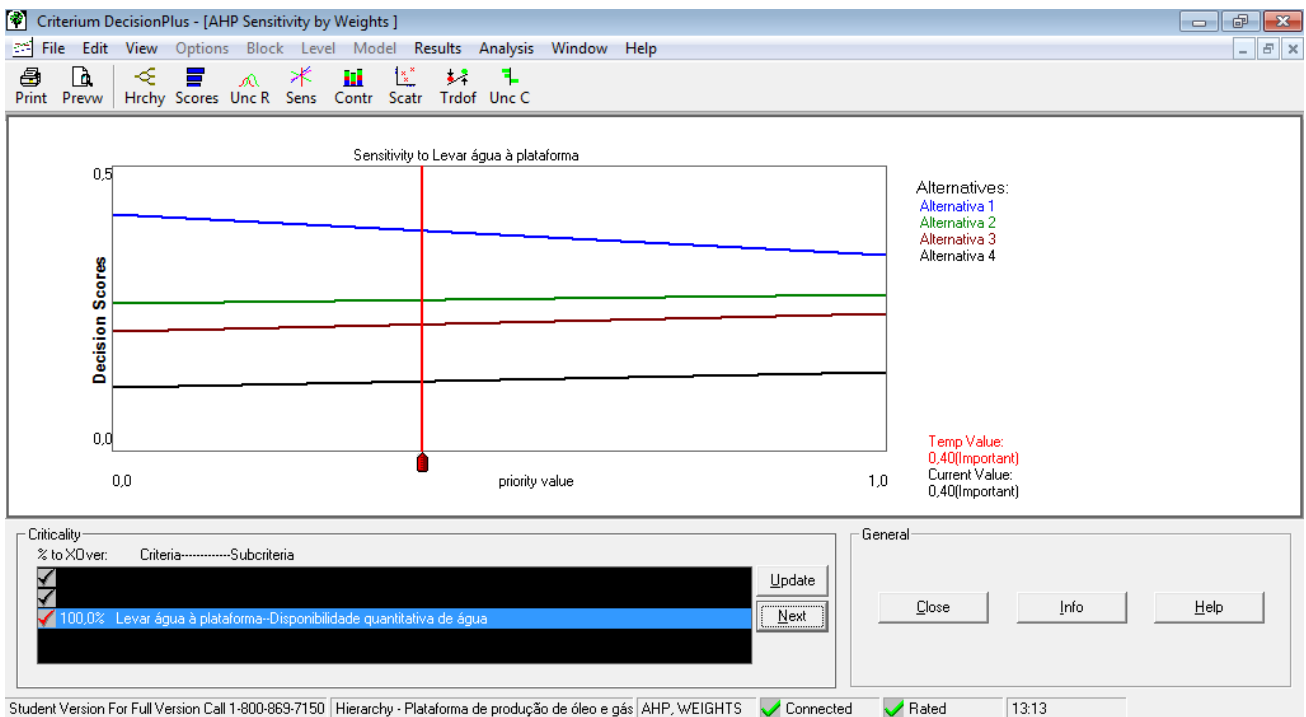


Figura 37 – Sensibilidade quanto à disponibilidade quantitativa de água (CDP)

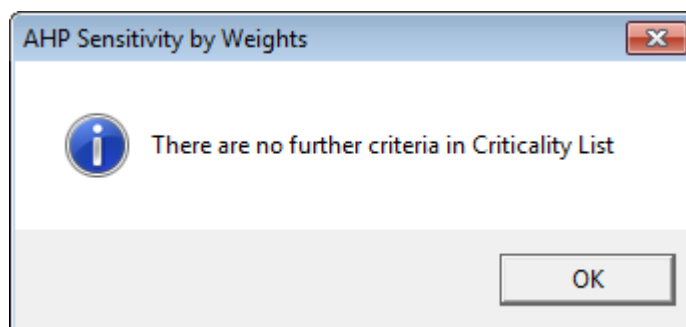


Figura 38 – Término da análise de sensibilidade (CDP)

O programa permite ainda a visualização das contribuições de cada critério para a pontuação das alternativas. A opção a ser selecionada no menu para a utilização da ferramenta e o gráfico resultante são apresentados nas Figura 39 e 40, respectivamente.

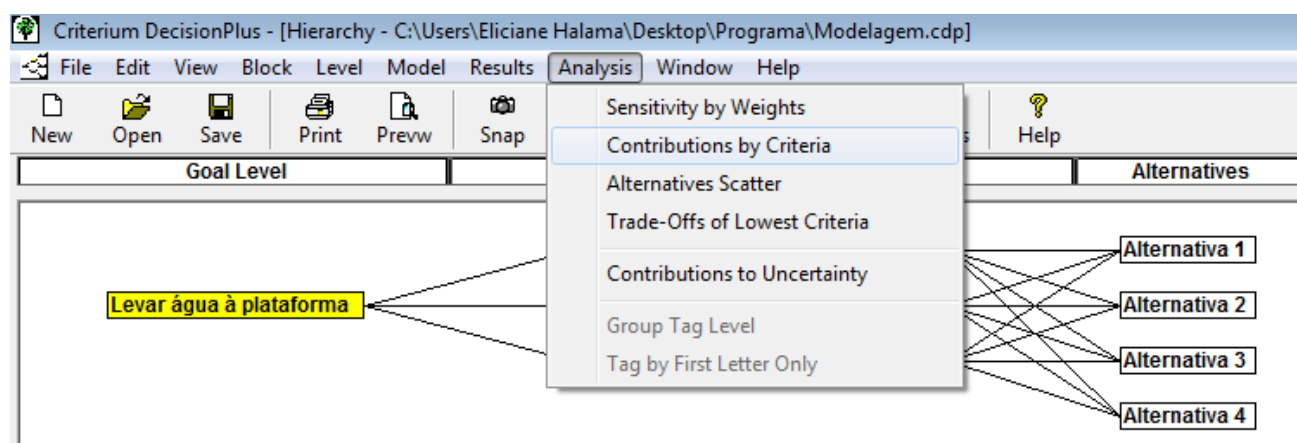


Figura 39 – Caminho no CDP para a exibição da contribuição dos critérios para cada alternativa

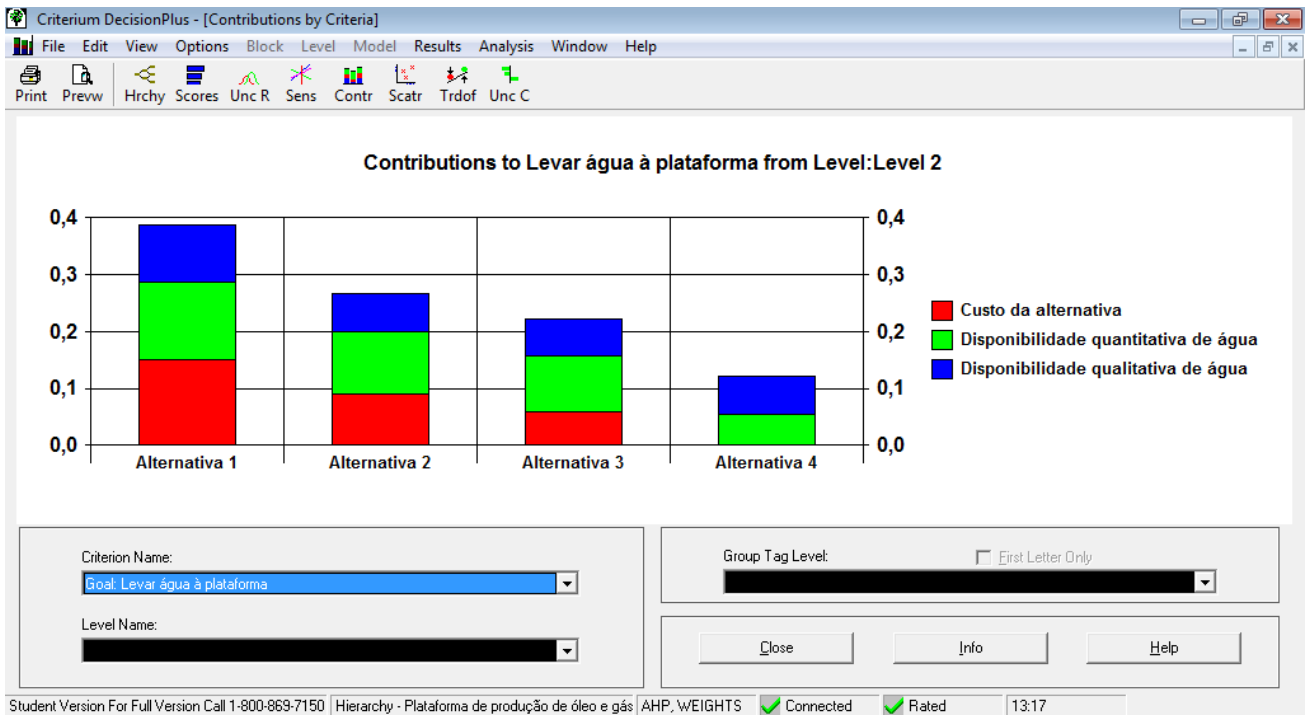


Figura 40 – Exibição da contribuição dos critérios para as avaliações (CDP)