

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO SOBRE ESTRATÉGIAS DE
USO E CONSERVAÇÃO DA ÁGUA NO MEIO URBANO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

TUANE BATISTA DO EGITO

Orientador: Prof^a. Danielle Costa Morais. D.Sc.

RECIFE, DEZEMBRO / 2008

B622a Egito, Tuane Batista do.

Análise multicritério sobre estratégias de uso e conservação da água no meio urbano / Tuane Batista do Egito. - Recife: O Autor, 2008. xi, 80 folhas, il : graf., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2008.

Inclui bibliografia e Apêndice.

1. Engenharia de Produção. 2. Método PROMETHEE V. 3. Recursos Hídricos. 4. Conservação de Água – Meio Urbano. I. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO ACADÊMICO DE

TUANE BATISTA DO EGITO

“ANÁLISE MULTICRITÉRIO SOBRE ESTRATÉGIAS DE USO E CONSERVAÇÃO
DE ÁGUA NO MEIO URBANO”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelas professoras abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera a candidata TUANE BATISTA DO EGITO **APROVADA**.

Recife, 17 de dezembro de 2008.


Profª. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutor (UFPE)


Profª. LUCIANA HAZIN ALENCAR, Doutor (UFPE)


Profª. ROBERTA OLIVEIRA PARREIRAS, Doutor (PUC-MG)

*Aos meus pais **Gilvan e Deneide** por todo amor, carinho e dedicação que me deram durante toda a minha vida e que me fizeram alcançar mais uma conquista.*

*A minha avó **Cleonice** que muito me apoiou para que eu chegasse aonde cheguei.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por está sempre ao meu lado, iluminando meu caminho, me dando força nos momentos mais difíceis, me encorajando para vencer cada obstáculo que impedia a realização desta grande conquista em minha vida, e é a Ele que dedico tamanha proeza.

Aos meus pais Gilvan Pedro do Egito e Deneide Batista do Egito que dedicaram toda sua vida e todo seu amor para que eu pudesse realizar todos os meus sonhos, sempre me dando forças para enfrentar os desafios e compartilhando comigo todas as conquistas realizadas.

A professora, orientadora e amiga Danielle Costa Morais pela a paciência, dedicação e confiança que depositou em mim para a realização deste trabalho tão desafiador.

A minha avó Cleonice Pereira Egito e ao meu tio Reginaldo Pedro do Egito pelo total apoio e incentivo que me deram para que eu pudesse realizar o mestrado.

As minhas irmãs Tacila Egito e Thayse Egito por estarem sempre ao meu lado nos momentos que mais precisei.

Aos amigos do mestrado Vanessa Batista, Fernando Schramm, Raniere Rodrigues e em especial, Lucyene Cândido e Jonas Paiva, que sempre me ajudaram nos momentos mais críticos desta caminhada com a sua amizade e companheirismo, mostrando sempre que todo sacrifício vale a pena.

A Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, por ter contribuído com informações essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPq através do CT-Hidro pelo apoio financeiro.

Ao PPGEP/UFPE por terem me escolhido para fazer parte do programa.

E a todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para realização do mestrado.

RESUMO

A degradação e exploração dos recursos hídricos do nosso planeta tem sido algo preocupante nos últimos anos. O uso indiscriminado e a poluição da água vêm fazendo com que esse bem tão precioso se torne mais escasso. O aumento da população, as mudanças no padrão de vida do mundo moderno, a falta de políticas de conservação e a falta de cultura de preservação por parte da população nos centros urbanos, vem causando a degradação da qualidade e escassez da água, resultado de um aumento da demanda não compatível com a capacidade de renovação deste recurso. Por esse motivo a busca por novas alternativas de conservação e uso eficiente da água nas áreas urbanas vem crescendo consideravelmente. O levantamento e aplicação dessas alternativas devem levar em consideração alguns critérios relevantes para o decisor, que variam de acordo com as características de cada região. Dessa forma é importante utilizar um modelo de apoio a decisão multicritério que auxilie o decisor na escolha e priorização das melhores alternativas. A proposta desse trabalho é desenvolver um modelo de apoio a decisão que auxilie na seleção de algumas alternativas de conservação e uso eficiente da água que possam ser realizadas na Região Metropolitana do Recife (RMR), a luz dos critérios levantados pelo decisor de acordo com a sua estrutura de preferência e mediante as restrições existentes no problema. A partir desta avaliação é aplicado o método de apoio a decisão baseada na abordagem de sobreclassificação, PROMETHEE V. Este método ordena essas alternativas utilizando o método PROMETHEE II e posteriormente integram-se as restrições existentes no problema e aplica-se a programação linear inteira que irá fornecer um subconjunto de alternativas potenciais a serem aplicadas para garantir uma redução do consumo de água no meio urbano nas grandes cidades.

Palavras-chave: Análise multicritério, PROMETHEE V, Conservação de água no meio urbano.

ABSTRACT

Nowadays, the degradation and exploration of water resources in our planet have been worrying. The indiscriminate use of water and its pollution make this important resource scanty. The increase in population, the changes in life style and the leak of public politics for water conservation provoke the degradation of water and its scarcity, consequently, the water demand increase faster than the water renovation capability. Therefore, the need for new alternatives for water conservation and for efficient use of water has increased significantly in urban centers. The formulation and application of these alternatives must consider some criteria which are defined by the decision makers involved in the decision process. Given this scenario, it is very important the use of a multicriteria decision support model to aid these decision makers to rank the best alternatives. This work proposed the definition of some alternatives for water conservation and for its efficient use to be applied to Recife Metropolitan Region. Also, the model evaluates each alternative according to the criteria defined by the decision makers. Then, the multicriteria method PROMETHEE V is applied, providing a ranking of alternatives, which will be evaluated through integer linear programming, using some budget and time restriction. Finally the model provides a set of alternatives which can be applied to guarantee the reduction in water use in urban areas.

Keywords: Multicriteria Analysis, PROMETHEE V, Conservation of water in urban.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Relevância do Estudo	2
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Metodologia.....	3
1.4	Estrutura da dissertação	4
2	BASE CONCEITUAL.....	6
2.1	Apoio a decisão multicritério	6
2.1.1	Modelagem de Preferência	9
2.1.2	Relação de Dominância	12
2.1.3	Ação Eficiente	12
2.1.4	Critérios	13
2.2	Abordagem de Sobreclassificação.....	13
2.2.1	Método PROMETHEE.....	14
2.3	Métodos de Sobreclassificação aplicados ao gerenciamento de recursos hídricos 19	
3	MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO MEIO URBANO.....	22
3.1	Ações Realizadas em outros países para o problema de escassez de água.....	26
3.2	Programas de ações para o uso eficiente da água no Brasil	30
3.2.1	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)	30
3.2.2	Programas de Combate ao Desperdício em várias regiões do Brasil	32
4	MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO MEIO URBANO	39
4.1	Levantamento das alternativas.....	42
4.2	Levantamento dos critérios.....	49
4.3	Ponderação dos critérios.....	50
4.4	Avaliação das alternativas com relação aos critérios	50
4.5	Avaliação das funções de preferência	53
4.6	Matriz de avaliação.....	53
4.7	Levantamento das Restrições	55
5	APLICAÇÃO NUMÉRICA	56

5.1	Avaliação das alternativas	57
5.2	Pesos dos critérios	59
5.3	Escolha das funções de preferência	60
5.4	Priorização das alternativas	61
5.5	Levantamento das restrições e aplicação da programação linear inteira.....	62
5.6	Análise de Sensibilidade.....	64
6	CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	67
6.1	Conclusões.....	67
6.2	Proposta para trabalhos futuros	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
	APÊNDICE 1.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Escopo do PNDCA (Fonte: PNCDA, Ministério das cidades, 2004)	31
Figura 3.2 - Processo de Redução de Perdas (Fonte: COMPESA, 2007).....	36
Figura 3.3 - Bases de Sustentação do programa (Fonte: COMPESA, 2007).....	37
Figura 4.1- Fluxograma das atividades realizadas para a aplicação do modelo	41
Figura 5.1 – Setorização do Distrito-30	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Formas para função de preferência.....	16
Quadro 3.1 - Usos da água	24
Quadro 4.1 – Representação da alternativas potenciais.....	49
Quadro 4.2 - Representação e descrição dos critérios de avaliação.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Distribuição dos Recursos Hídricos e da População nas Regiões no Nordeste ...	23
Tabela 4.1 - avaliação da escala e conversão da escala verbal para escala numérica para o critério C4.....	51
Tabela 4.2 - avaliação da escala e conversão da escala verbal para escala numérica para o critério C5.....	51
Tabela 4.3 - avaliação da escala e conversão da escala verbal para escala numérica para o critério C6.....	52
Tabela 4.4 – Matriz de avaliação das alternativas.....	54
Tabela 5.1 Matriz de avaliação das alternativas para cada critério.....	58
Tabela 5.2 - Matriz de avaliação das alternativas para cada critério.....	59
Tabela 5.3 – Ordenação do critérios segundo as preferência do decisor.....	59
Tabela 5.4 – Funções de preferência.....	60
Tabela 5.5 – Índices de preferência.....	61
Tabela 5.6 – Resultado dos fluxos encontrados.....	61
Tabela 5.7 – Alternativas selecionadas após a aplicação da programa inteira.....	63
Tabela 5.8 – Subconjunto das alternativas potenciais.....	63
Tabela 5.9- Valores dos pesos dos critério acrescidos de 10%.....	64
Tabela 5.10- fluxos após análise de sensibilidade.....	65
Tabela 5.11- Alternativas selecionadas após a aplicação da programa inteira para a análise de sensibilidade.....	65

1 INTRODUÇÃO

A degradação e exploração acentuada dos recursos naturais presentes no planeta é tema de grandes e inúmeras discussões em comitês de preservação ambiental. Um dos recursos que mais gera preocupação dentro destas reuniões é água.

A má utilização e os grandes índices de poluição tem contribuído para que este recurso natural torne-se cada vez mais escasso. De acordo com Hafner (2007), o aumento da população e as mudanças no seu padrão de vida, contribuíram para a degradação da qualidade e escassez da água nos centros urbanos. A industrialização, urbanização e o crescimento da produção de culturas agrícolas também contribuíram para o uso desmedido da água nestes centros. A causa deve-se a incompatibilidade da demanda com capacidade de renovação dos recursos hídricos, e pela elevação de despejos de esgotos nos mananciais. De tal maneira faz-se necessária a procura por novas formas de reduzir o consumo da água nas áreas urbanas.

A falta de cultura de preservação é outro problema que contribui para o mau uso da água nas cidades. Lopes (2003) relata que a população rural está habituada em utilizar a água de forma racional devido, em algumas regiões, existir uma grande dificuldade ao acesso deste recurso. Já nas grandes cidades a facilidade de acesso à água é maior, desta forma, muitos usuários acabam utilizando a água de maneira desmedida, sem nenhuma preocupação em economizá-la.

A Agência Nacional das Águas – ANA (2007) destaca alguns fatores que também contribuem para a diminuição da disponibilidade hídrica em áreas urbanas como: os baixos níveis de tratamento de esgotos domésticos; disposição inadequada de resíduos sólidos; impermeabilização crescente do solo urbano interferindo nas condições naturais de drenagem, amplificando os efeitos das cheias; comprometimento de mananciais próximos as áreas urbanas contribuindo para a escassez de disponibilidade hídrica em qualidade adequada.

Diante do problema exposto, é necessário a busca por alternativas para a conservação e uso eficiente da água em áreas urbanas, evitando o agravamento do problema de escassez nestes centros. Não é interessante apenas escolher uma só ação em particular ou ordenar as alternativas partindo da melhor para a pior, mas encontrar um conjunto de ações que podem ser aplicadas.

A complexidade do problema faz com que o decisor gestor de recursos hídricos tenha dificuldade de encontrar um conjunto de alternativas que melhor se adéque as condições do problema, considerando os diversos critérios estabelecidos e o grau de importância atribuído a

cada um deles, e também as restrições existentes. Dessa forma, é relevante a aplicação de um modelo de apoio a decisão multicritério que seja capaz de selecionar um conjunto de alternativas potenciais que poderão ser aplicadas em áreas urbanas considerando todos os aspectos envolvidos na situação, sejam eles técnicos, financeiros, sociais ou ambientais e as restrições impostas para determinada região.

No modelo utilizou-se o método PROMETHEE V que trabalha sobre a abordagem de sobreclassificação (*outranking*). O método foi escolhido porque é o que mais se enquadra ao problema em estudo, pois ele trabalha sob a ótica da problemática de escolha sob restrições. O PROMETHEE V irá selecionar um subconjunto de alternativas potenciais dentro da ordenação, realizada *a priori*, das alternativas (utilizando PROMETHEE II) levantadas para o problema em questão.

1.1 Relevância do Estudo

A busca por novas soluções de conservação da água e seu uso mais eficiente no meio urbano tem sido uma das preocupações dos estudiosos nesta área e, por este motivo, estudos sobre tal assunto crescem constantemente.

O agravamento do problema de escassez de água nos grandes centros urbanos decorre da falta de políticas de conservação nessas áreas e também por uma falta de cultura de preservação por parte da população, outro fator importante é o desperdício ocasionado por perdas nas redes de distribuição, por falta de uma fiscalização mais rigorosa das empresas concessionárias evitando o furto de água e um maior controle nas micromedições. Para amenizar este problema algumas regiões no Brasil estão buscando e estudando alternativas de conservação e uso eficiente da água, mas para a aplicação destas alternativas o decisor precisa verificar alguns critérios que variam de acordo com as características de cada região.

Decisões na área de Recursos Hídricos é uma atividade muito complexa, pois envolvem várias ações e múltiplos objetivos com conseqüências intangíveis. Essas características fazem com que a análise multicritério das alternativas avaliadas, a partir de um conjunto de critérios, seja uma forma interessante de tratar esse tipo de problema de decisão (HAJKOWICZ & HIGGINS, 2008).

Por isso é importante a utilização de um modelo de apoio a decisão multicritério que o auxilie na escolha das melhores alternativas, pois garante uma melhor caracterização do problema, conseqüentemente maior entendimento da situação e de suas conseqüências;

garante que todos os critérios envolvidos sejam considerados, aumentando a qualidade das recomendações; e ainda uma maior transparência e agilidade ao processo decisório.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo de apoio a decisão a fim de selecionar um conjunto de alternativas para a conservação e uso mais eficiente da água, visando amenizar os problemas de escassez nos centros urbanos, segundo restrições existentes no problema.

Como objetivos específicos este trabalho visa:

- Fazer uma revisão da literatura sobre as ferramentas de apoio a decisão multicritério, adequadas para decisões ambientais;
- Pesquisar as alternativas de conservação e uso eficiente da água no meio urbano, que estão sendo realizadas no Brasil e no mundo;
- Levantar os critérios apropriados para a priorização das alternativas;
- Avaliar as restrições existentes na análise das alternativas;
- Propor um modelo de apoio a decisão multicritério para a escolha das alternativas;
- Avaliar a aplicação do modelo na área urbana da Região Metropolitana do Recife (RMR).

1.3 Metodologia

Na metodologia de elaboração do modelo apresentado neste trabalho, serão levadas em consideração algumas etapas fundamentais para a sua aplicação. Dentre elas destaca-se a caracterização do problema onde é realizado o levantamento das alternativas potenciais e dos critérios de avaliação de acordo com a estrutura de preferência do decisor. A próxima etapa consiste na avaliação das alternativas, na ponderação dos critérios e na determinação das funções de preferência para a elaboração da matriz de avaliação alternativa por alternativa. A fase seguinte do modelo é a aplicação do método PROMETHEE V, onde são realizadas a ordenação das alternativas utilizando o PROMETHEE II, a avaliação das restrições e aplicação da programação linear inteira. Como resultado, é obtido o subconjunto de alternativas potenciais.

Para o desenvolvimento desta dissertação serão utilizados os métodos da família da Escola Francesa, baseados na abordagem de Sobreclassificação (*outranking*). O método utilizado será o PROMETHEE V, que é considerado de fácil entendimento, onde os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm significado físico ou econômico de rápida assimilação por parte do decisor (MORAIS & ALMEIDA, 2006). Este método, comparado aos demais da família PROMETHEE, é o mais adequado para o problema estudado, pois tem o objetivo de selecionar um conjunto de alternativas sujeito a restrições. Na primeira fase de aplicação do método é feita uma ordenação das alternativas levantadas utilizando o método PROMETHEE II, na segunda fase, as restrições são introduzidas e o problema passa a ser um problema de otimização no qual será usada a Programação Inteira 0-1 para tratá-lo.

Para a obtenção de dados suficiente para a elaboração deste trabalho, inicialmente será realizada uma pesquisa bibliográfica que irá descrever:

- A situação da escassez de água no planeta inclusive das conseqüências que esta escassez pode acarretar para a população mundial, inclusive nos centros urbanos.
- Como a população, órgãos públicos e demais entidades vem tratando este problema e qual a postura que eles estão tomando para evitar futuros transtornos;
- Como a má utilização e não conservação da água, principalmente nos centros urbanos vem prejudicando a própria população que necessita da água, e que medidas estão sendo tomadas no Brasil e no mundo para determinar um uso mais eficaz da água e sua conservação e quais as alternativas de conservação são mais adequadas.

Serão também realizadas entrevistas não-estruturadas com especialistas com conhecimento na área de recursos hídricos que irão indicar possíveis alternativas e os possíveis critérios que podem ser levados em consideração para a aplicação do modelo. Além das entrevistas será realizada pesquisa bibliográfica para o levantamento dessas alternativas, coleta de dados para sua avaliação e para a ponderação dos critérios.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em seis capítulos:

O capítulo I apresenta uma visão geral da situação em que se encontra o problema de escassez de água nas áreas urbanas, explica a relevância do estudo, os objetivos do trabalho e a metodologia utilizada.

O capítulo II traz a base conceitual e pesquisa bibliográfica sobre a Análise Multicritério de apoio a decisão, apresentando alguns conceitos e enfatizando os métodos da abordagem de sobreclassificação.

O capítulo III relata sobre a problemática da escassez de água nas áreas urbanas, as ações que estão sendo realizadas em alguns países para solucionar o problema, e também programas de redução e controle ao desperdício de água realizados no Brasil e na RMR, região foco do estudo.

O capítulo IV traz o modelo de decisão proposto neste trabalho, ressaltando as alternativas de decisão, os critérios e suas respectivas formas de avaliação.

O capítulo V apresenta a aplicação numérica do modelo.

O capítulo VI traz as conclusões observadas após a aplicação do modelo e propostas para trabalhos futuros.

2 BASE CONCEITUAL

Este capítulo apresenta uma base conceitual que auxiliará no desenvolvimento desta dissertação, mostrando alguns conceitos importantes relativos ao Apoio a Decisão Multicritério, destacando-se os métodos de sobreclassificação como o PROMETHEE, que será utilizado para a elaboração do modelo proposto no trabalho.

2.1 Apoio a decisão multicritério

As decisões são escolhas feitas pelo decisor baseadas naquilo que se deseja como resultado esperado. Muitas vezes estas decisões são tomadas a partir da intuição, mas para problemas mais complexos é necessário que haja um tipo de análise mais detalhada não se baseando apenas na intuição do decisor.

Decisões complexas são difíceis de ser tomadas avaliando um único aspecto, isto porque, geralmente essas decisões têm que atender a múltiplos objetivos. As suas conseqüências não podem ser precisamente identificadas (GOMES *et al.*, 2006).

Uma característica do problema de decisão multicritério corresponde à necessidade de se considerar os vários pontos de vista, geralmente conflitantes, dos diversos agentes decisores, ou seja, a escolha de uma determinada ação irá depender da análise dos diferentes critérios. Vincke (1992) afirma que dentro do apoio a decisão multicritério, não há uma única decisão, solução ou ação, que seja a melhor simultaneamente para todos os critérios. Portanto a palavra otimização não faz sentido para este contexto. Na programação linear multicritério a otimização existe, mas não no sentido habitual da palavra, como na programação linear monocritério com uma só função objetivo. Mas como um conjunto de soluções eficientes onde não existe nenhuma outra solução admissível que seja igual, ou melhor, para as funções objetivo existentes no problema (CLÍMACO *et al.*, 2003).

Segundo Milan Zeleny (1994) a tomada de decisão multicritério é uma forma de tentar resolver problemas com objetivos conflitantes que impede de chegar a uma solução ótima e conduz à procura da melhor escolha. O processo decisório exige em sua formação a existência de um conjunto de alternativa factíveis, em que cada decisão tem associado um ganho ou uma perda.

O apoio a decisão multicritério visa oferecer ao decisor ferramentas que irão fazer com que ele seja capaz de resolver problemas com várias alternativas. Roy (1996) define o apoio a decisão multicritério como sendo uma atividade onde um analista utilizando modelos formais,

ajuda a obter elementos que respondam às questões levantadas pelos decisores. Elementos esses, que tornarão a decisão mais clara e servirão para recomendar ou favorecer na evolução do processo, tornando-o mais consistente com os objetos e com as preferências dos decisores. Tal metodologia serve de apoio aos decisores para melhor conhecer o seu problema e seus objetivos levando em consideração suas peculiaridades e subjetividade.

Dentro do apoio a decisão multicritério existem duas visões sobre o problema, prescritivista e construtivista (GOMES *et al*, 2006). Na visão prescritivista os modelos são elaborados e apresentados ao decisor e cabe a ele decidir se os aceita ou não. Já na visão construtivista os modelos são construídos com o objetivo de fazer recomendações, levando em consideração a subjetividade dos envolvidos na decisão.

Na análise multicritério, deve-se avaliar a problemática de referência, que, segundo Roy (1996), é uma característica que descreve a concepção do processo de decisão. A problemática de referência fornece uma percepção correta de como os elementos do processo decisório serão estruturados, bem como, auxilia o analista na avaliação de como será a sua participação, a forma como ele direcionará as suas investigações, os resultados esperados e como eles serão apresentados ao decisor.

As quatro problemáticas de referência são definidas por Roy (1996) como:

- **Problemática de Escolha (P. α):** apresenta o problema em termos da escolha da melhor alternativa. Levando a encontrar um subconjunto A' de um conjunto de ações A , tão pequeno quanto possível, contendo as “melhores” ações ou as ações mais satisfatórias, visando escolher uma única ação como decisão final.
- **Problemática de Classificação (P. β):** apresenta o problema em termos de disposição das ações em categorias bem definidas baseadas em normas aplicadas ao conjunto de ações e seus valores intrínsecos. Esta problemática conduz ao resultado de aceitar ou rejeitar certas ações ou fornece uma recomendação mais complexa, propondo uma metodologia que pode ser utilizada para dispor as ações em classes.
- **Problemática de Ordenação (P. γ):** apresenta o problema em termos de ordenação das ações do conjunto A determinando uma ordem que pode ser considerada “suficientemente satisfatória”, com base em um modelo de preferências. Esta problemática sugere uma ordem parcial ou completa das classes que contém ações consideradas equivalentes e propõe uma metodologia baseada em um procedimento de ordenação.

- **Problemática de Descrição P. δ :** apresenta o problema em termos de descrição das ações do conjunto de ações A e as suas conseqüências, de forma a tornarem explícitas as ações relacionadas à ação potencial apoiando o decisor a entender e avaliar essas ações. Esta problemática descreve de forma sistemática e formal as ações e suas conseqüências em termos qualitativos e quantitativos, e propõe uma metodologia baseada em procedimentos cognitivos.

A problemática de referência é estabelecida pelo decisor. Este ator do processo tem o poder e a responsabilidade da decisão final, além de assumir as suas conseqüências. Ele influencia diretamente na decisão através dos seus sistemas de valores, estabelecendo os limites do problema. Além do decisor, outros atores estão envolvidos no processo decisório, dentre eles destacam-se os *stakeholders*, grupo de terceiros e o analista.

Os chamados *stakeholders*, são atores que podem não ter responsabilidade formal pela decisão, mas têm interesse no resultado final, por isso irão intervir diretamente no processo decisório através dos seus sistemas de valores. O grupo dos terceiros são aqueles que não participam diretamente da decisão, mas que são afetados pelas suas conseqüências e, por isso, suas preferências devem ser levadas em consideração (ROY, 1996). O analista é um indivíduo que executa o apoio a decisão, geralmente é alguém com experiência ou um especialista que pode trabalhar sozinho ou com uma equipe. O seu papel é tornar explícito o modelo e a sua utilização de forma a obter elementos que esclareçam para o decisor sobre as conseqüências de suas escolhas, e talvez recomendar algumas ações ou metodologias que possam o apoiar no processo decisório (GOMES, 2006; ROY, 1996).

É importante ressaltar que o apoio a decisão multicritério trabalha com um conjunto finito de ações. De acordo com Roy (1996) uma ação é a representação de uma possível contribuição a tomada de decisão e serve como um ponto de aplicação para o processo decisório. As ações podem ser definidas como: atual (a ação corresponde a um projeto desenvolvido que pode ser executado) ou fictícia (a ação corresponde a um projeto idealizado), realística (a ação cuja implementação possa ser razoavelmente prevista) ou não-realista (a ação cujos objetivos são incompatíveis, mas serve de base para discussão). Uma ação fictícia pode ser realista ou não-realista, a partir desses conceitos Roy (1996) define ação potencial como sendo uma ação real ou fictícia julgada em dado momento como realista por pelo menos um dos atores do processo de decisão, decisor ou analista.

Vincke (1992) define um conjunto de ações como um conjunto de decisões, a ser explorado durante o processo de decisão. O problema de decisão pode ser modelado com um

conjunto de ações que podem ser estável (definido a priori sem sofrer modificações durante o processo) ou evolutivo (sujeito a modificações durante o processo), globalizado (cada elemento do conjunto exclui outro) ou fragmentado (as decisões resultam de combinações de diversos elementos do conjunto) dependendo da escolha que é feita.

Definir o conjunto de ações não depende apenas do problema em questão e dos atores envolvidos na tomada de decisão, mas também de forte interação com etapas importantes do processo como: modelagem de preferência, definição de critérios e a escolha do método de apoio a decisão que pode ser aplicado (VINCKE, 1992).

2.1.1 Modelagem de Preferência

A modelagem de preferência tem o objetivo de apoiar o processo decisório por meio de uma relação binária entre duas alternativas estabelecendo condições que expressem as preferências do decisor quando estas alternativas são comparadas entre si. Vincke (1992) argumenta que a modelagem de preferência é uma etapa indispensável na tomada de decisão.

O estudo da modelagem de preferência do decisor é feita com a comparação de duas alternativas (a , b) de um conjunto de ações A levando em consideração três hipóteses:

1. Preferência por uma das ações;
2. Indiferença entre as ações;
3. Não tem capacidade ou não quer compará-las.

Estas hipóteses podem ser representadas pelas relações de Preferência (P), Indiferença (I) e Incomparabilidade (J), respectivamente. Elas aparecem na maioria dos casos onde é estudada a modelagem de preferência do decisor e são mutuamente exclusivas.

Roy (1996) aponta que quando o decisor se depara com a necessidade de estruturar suas preferências entre duas alternativas a e b de um conjunto de ações A . Ele utiliza o **Sistema Básico de Relações de Preferência** composto pelas seguintes relações:

- **Preferência Estrita (P):** Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a equivalência entre duas ações.
- **Preferência Fraca (Q):** Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma (bem identificada) das duas ações.
- **Indiferença (I):** Corresponde à existência de razões claras e objetivas que invalidem a preferência estrita em favor de uma das duas ações, mas essas

razões são insuficientes para se deduzir uma preferência estrita em favor de outra ou uma indiferença entre duas ações; portanto, não é possível diferenciar nenhuma das situações precedentes.

- **Incomparabilidade (R):** Corresponde à ausência de razões claras e positivas para justificar qualquer uma das três situações precedentes.

Roy (1996) também apresenta mais cinco relações de preferência. Estas são caracterizadas pela combinação das relações básicas e que expressam com mais detalhes as preferências do decisor com relação a duas alternativas. Junto com o Sistema Básico de Relações de Preferência, estas formam o **Sistema Consolidado de Relações de Preferência:**

- **Não-preferência (\sim):** Corresponde a uma ausência de situações claras e objetivas para justificar a preferência estrita ou fraca em favor de uma das ações e, portanto, consolidar as situações de indiferença ou de incomparabilidade sem ser capaz de diferenciá-las.
- **Preferência (π):** Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a preferência estrita ou fraca em favor de uma (bem identificada) das duas ações e, portanto, consolida as situações de preferência estrita e fraca sem, no entanto, ser capaz de diferenciá-las.
- **J – Preferência (presunção de preferência):** Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a preferência fraca, sem se preocupar quão fraca, em favor de uma (bem identificada) das duas ações, mas não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência fraca e indiferença.
- **K – Preferência:** Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a preferência estrita em favor de uma (bem identificada) das duas ações ou a incomparabilidade entre elas, mas não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita e incomparabilidade.
- **Sobreclassificação (S):** Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a preferência ou J - preferência em favor de uma (bem identificada) das duas ações, mas não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença.

Vincke (1992) descreve o modelo tradicional de estruturas de preferência como sendo aquelas que não aceitam a incomparabilidade entre as alternativas, ou seja, a relação J é vazia. Tal abordagem traduz um problema de decisão para a otimização de uma função g definida no conjunto de ações A , onde as preferências do decisor podem ser representadas como:

$$\forall a, b \in A$$

$$\left. \begin{array}{l} aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) \\ aIb \Leftrightarrow g(a) = g(b) \end{array} \right\} \text{Modelo tradicional}$$

Tal estrutura de preferência deve obedecer às seguintes condições:

- $a \not J b$: J é vazio (não existe incomparabilidade)
- aPb e $bPc \rightarrow aPc$: P é transitivo
- aIb e $bIc \rightarrow aIc$: I é transitivo

Com isso é possível definir as seguintes estruturas (ROY, 1996):

- **Estrutura de Pré-Ordem Completa:** as alternativas do conjunto de ações são ordenadas da melhor para a pior com a possibilidade de empate por similaridade, ou seja, é permitida a indiferença entre as alternativas.
- **Estrutura de Ordem Completa:** as alternativas do conjunto de ações são ordenadas da melhor para a pior, mas sem a possibilidade de empate por similaridade entre as alternativas, ou seja, não é permitida a indiferença.
- **Estruturas de Semi-Ordem:** ocorre quando existe um limiar de indiferença (q), abaixo do qual o decisor não consegue explicar a indiferença e não quer expressar a preferência.

$$\forall a, b \in A$$

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q$$

$$aIb \Leftrightarrow |g(a) - g(b)| \leq q$$

- **Estrutura de Ordem de Intervalo:** o limiar de indiferença varia ao longo de uma escala de valores, permitindo um modelo de limiar variável.

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b))$$

$$aIb \Leftrightarrow g(a) \leq g(b) + q(g(b))$$

$$g(b) \leq g(a) + q(g(a))$$

- **Estrutura de Pseudo-Ordem:** Tal estrutura permite um limiar de indiferença (q) abaixo do qual é clara a indiferença e um limite de preferência (p) acima do qual não há dúvida da preferência.

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) + p(g(b))$$

$$aQp \Leftrightarrow g(b) + p(g(b)) \geq g(a) > g(b) + q(g(b))$$

$$aIb \Leftrightarrow g(a) \leq g(b) + q(g(b))$$

$$g(b) \leq g(a) + q(g(a))$$

A relação preferência fraca (Q) reflete a indecisão do tomador de decisão entre indiferença e preferência estrita.

Vincke (1992) apresenta outro grupo de estruturas de preferência na qual a incomparabilidade é aceita. Estas estruturas não denominadas de estruturas parciais de preferência.

- **Estrutura de pré-ordem parcial:** as alternativas do conjunto de ações são ordenadas da melhor para a pior com a possibilidade de empate por similaridade, ou seja, é permitida a indiferença entre as alternativas e aceita a incomparabilidade;
- **Estrutura de Ordem Parcial:** as alternativas do conjunto de ações são ordenadas da melhor para a pior, mas sem a possibilidade de empate por similaridade entre as alternativas, ou seja, não é permitida a indiferença e aceita a incomparabilidade.

2.1.2 Relação de Dominância

A definição de relação de dominância dada por Vincke (1992) pode ser compreendida da seguinte maneira: dado elementos a e b do conjunto de ações A , diz-se que a domina b (aDb), se somente se $g_j(a) \geq g_j(b)$, $j = 1, 2, \dots, n$, onde pelo menos uma das desigualdades é estrita.

2.1.3 Ação Eficiente

Uma ação a é dita eficiente se, e somente se, nenhuma outra ação de A que seja superior a ela ou a domine (VINCKE, 1992).

O conjunto de ações eficientes é geralmente considerado como um conjunto de ações interessantes de A , mesmo que não existam razões suficientes para não aceitar as não eficientes.

2.1.4 Critérios

Vincke (1992) define critério como sendo uma função g , definida em um conjunto de ações A , na qual os valores são tomados de um conjunto totalmente ordenado, e que representa as preferências do decisor de acordo com um determinado ponto de vista.

Os critérios podem ser quantitativos avaliados segundo escalas numéricas bem definidas e qualitativas quando não existem unidades de medidas definidas. A representação $g_j(a)$ indica que a ação a está sendo avaliada com relação ao critério j .

Vincke (1992) classifica os critérios de acordo com a estrutura de preferência:

- Critério Verdadeiro: se a estrutura de preferência básica é uma estrutura de pré-ordem completa (modelo tradicional);
- Semi-critério: se a estrutura de preferência básica é uma estrutura de semi-ordem (modelo de limiar);
- Critério Intervalar: se a estrutura de preferência básica é uma estrutura de ordem intervalar (modelo de limiar variável);
- Pseudo-critério: se a estrutura de preferência básica é uma estrutura de pseudo-ordem (modelo de limiar dublo, com restrições sobre os limiares).

O mesmo autor descreve que a representação dos diferentes pontos de vista (aspectos, características, fatores) com a ajuda de uma família de critérios $F = \{g_1, \dots, g_j, \dots, g_n\}$ é a parte mais delicada da formulação de um problema de decisão.

2.2 Abordagem de Sobreclassificação

A abordagem de sobreclassificação faz parte da família da Escola Francesa, que permite construir uma relação de sobreclassificação que representa as preferências estabelecidas pelo decisor. Os métodos desta família procuram estabelecer comparações par a par entre as alternativas formando uma relação onde se diz que, uma alternativa sobreclassifica a outra quando ela é no mínimo tão boa quanto esta alternativa, e não existe argumentos suficientes que justifiquem o quanto esta outra alternativa é melhor. Na sua modelagem não existe função valor de agregação das alternativas, como nos métodos de

Critério Único de Síntese que são métodos compensatórios, desta forma esses métodos apresentam uma característica não-compensatória. Permitem a intransitividade entre as preferências, as indiferenças entre as alternativas, e aceita a incomparabilidade (VINCKE, 1992; BELTON & STEWART, 2002). Dentro dos métodos de sobreclassificação, os que mais se destacam são os da família ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la REalité*, que em português significa Tradução da Realidade por Eliminação e Escolha), e os da família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*, que em português significa Método de Ordenação de Preferência para o Enriquecimento da Avaliação).

O método ELECTRE foi desenvolvido por Bernard Roy juntamente com membros do LAMSADE (*Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision*) em 1968 (LAMSADE, 1968; BELTON & STEWART, 2002; GOMES *et al.*, 2006). Os métodos desta família são baseados na avaliação de dois índices: Índice de Concordância e Índice de Discordância, definida para cada par de ações a e b .

O método PROMETHEE foi desenvolvido por Jean Pierre Brans e co-autores em 1985 e consiste na construção de uma relação de sobreclassificação valorada. Suas principais características são a simplicidade da aplicação, a clareza dos dados obtidos e o fácil entendimento dos conceitos e parâmetros envolvidos por par do decisor (BRANS, VINCKE, MARESCHAL, 1986). A seguir é apresentado com maior detalhamento a família de métodos PROMETHEE, e o método que será utilizado no modelo proposto neste trabalho.

2.2.1 Método PROMETHEE

Vincke (1992) descreve que para construir uma relação de sobreclassificação valorada, cada critério é avaliado por um peso p_j . Os pesos são medidas de importância relativa do critério. Se todos os critérios têm a mesma importância para o decisor, então todos os pesos podem ser tomados igualmente (BRANS *et al.*, 1986). Eles são expressos através de escalas, que podem ser cardinais, verbais ou ordinais.

Os pesos dos critérios permitem que as preferências do decisor e o seu impacto na posição das alternativas sejam expressos explicitamente. Eles podem ser elicitados de várias formas, mas nenhuma pode garantir um resultado mais preciso (MOSHKOVICH *et al.*, 1998).

Uma das limitações do PROMETHEE é que ele não fornece orientações específicas para a determinação desses pesos, mas assume que o decisor é capaz de ponderar os critérios

adequadamente, pelo menos quando o número de critérios não é muito grande (MACHARIS *et al.*, 2004).

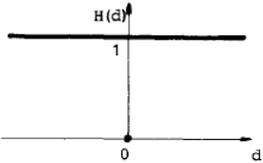
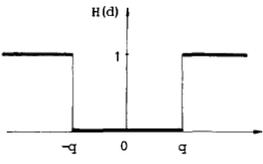
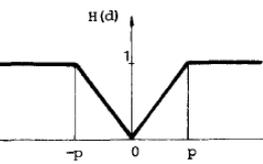
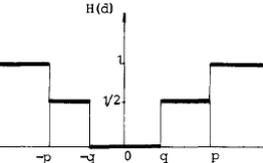
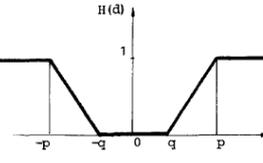
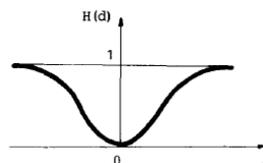
Macharis *et al.* (2004) propuseram uma nova abordagem para a determinação de pesos no método PROMETHEE, que é através da introdução da hierarquia utilizada no método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Esta hierarquia consiste em organizar os fatores considerados relevantes para o decisor. No topo, encontra-se o objetivo principal, nas ramificações encontram-se os elementos que contribuem para o alcance desse objetivo (critérios) e no final são colocadas as alternativas de ação disponíveis. A estruturação deve ser feita de modo que os critérios em cada nível sejam homogêneos (os critérios devem possuir o mesmo grau de importância relativa dentro do nível) e não-redundantes (um critério de um determinado nível deve ser independente em relação a critérios de níveis inferiores).

A vantagem do sistema proposto por Macharis *et al.* (2004), é que o decisor executa apenas um número limitado de comparações par a par para a construção da matriz de avaliação de desempenho das alternativas, e assim determinar o peso dos critérios. Esse número se restringe a primeira linha da matriz, as demais são geradas automaticamente após a avaliação formal da primeira linha. O decisor fica responsável apenas de realizar uma verificação final dos impactos globais das suas escolhas sobre a avaliação total da matriz e dos pesos determinados para cada critério.

Neste trabalho não será realizado nenhum método formal para a determinação dos pesos dos critérios. A forma como será determinado esses pesos será exposto no capítulo referente a construção do modelo.

Após a determinação dos pesos, o ponto chave de aplicação do método é a construção de uma matriz de decisão de avaliações das alternativas relacionadas a um determinado conjunto de critérios. Para a construção da matriz é necessário definir uma função de preferência para cada critério, que descreve a intensidade de preferência de uma opção de uma alternativa a sobre uma alternativa b , por um dado critério j , que é denotado por $F_j(a,b)$ e assume valores entre 0 e 1 (BELTON & STEWART, 2002; VINCKE, 1992).

Brans *et al.* (1986), apresentam seis formas diferentes para as funções de preferência do PROMETHEE, como mostra o quadro 2.1.

<p>I – Critério usual</p>		$g_i(a) - g_j(b) > 0 \rightarrow F(a,b) = 1$ $g_i(a) - g_j(b) \leq 0 \rightarrow F(a,b) = 0$	<p>Assume valor 1 se a diferença de desempenho for positiva e recebe valor zero se for negativa</p>
<p>II - Quase-critério</p>		$g_i(a) - g_j(b) > q \rightarrow F(a,b) = 1$ $g_i(a) - g_j(b) \leq q \rightarrow F(a,b) = 0$	<p>Recebe valor 1 se a diferença for maior que um parâmetro pré-definido q (limiar de indiferença), recebe valor zero se a diferença recebe valor menor ou igual a q.</p>
<p>III – Critério de preferência linear</p>		$g_i(a) - g_j(b) > p \rightarrow F(a,b) = 1$ $g_i(a) - g_j(b) \leq p \rightarrow$ $F(a,b) = [g_i(a) - g_j(b)]/p$ $g_i(a) - g_j(b) \leq 0 \rightarrow F(a,b) = 0$	<p>Recebe valor 1 se a diferença for maior que um parâmetro pré-definido p (limiar de preferência), recebe valor zero se a diferença for negativa. Se a diferença esta entre p e 0, o valor da função é dado por uma equação linear.</p>
<p>IV – Critério Nível</p>		$g_i(a) - g_j(b) > p \rightarrow F(a,b) = 1$ $q < g_i(a) - g_j(b) \leq p \rightarrow$ $F(a,b) = 1/2$ $ g_i(a) - g_j(b) \leq q \rightarrow F(a,b) = 0$	<p>Recebe valor 1 se a diferença for maior que o limiar de preferência p, recebe valor zero se a diferença for menor de o limiar de indiferença q. Se a diferença esta entre p e q o valor da função é 1/2.</p>
<p>V – Critério de preferência linear com zona de indiferença</p>		$ g_i(a) - g_j(b) > p \rightarrow F(a,b) = 1$ $q < g_i(a) - g_j(b) \leq p \rightarrow$ $F(a,b) = (g_i(a) - g_j(b) - q)/(p - q)$ $ g_i(a) - g_j(b) \leq q \rightarrow F(a,b) = 0$	<p>Recebe valor 1 se a diferença for maior que o limiar de preferência p, recebe valor zero se a diferença for menor de o limiar de indiferença q. Se a diferença esta entre p e q o valor da função é dado por uma equação linear.</p>
<p>VI - Gaussiana</p>		<p>O desvio-padrão deve ser fixado</p> $g_i(a) - g_j(b) > 0$ $g_i(a) - g_j(b) \leq 0$ <p>A preferência aumenta segundo uma distribuição normal</p> $F(a,b) = 0$	<p>Recebe o valor de uma distribuição normal para diferenças de desempenho positivas, recebe valor zero para diferenças negativas.</p>

Quadro 2.1 - Formas para função de preferência

Fonte: adaptado de Bran & Marechal (1986); Almeida & Costa (2002)

A partir dos valores das funções de preferência e dos pesos atribuídos para cada critério é calculado o grau de sobreclassificação da alternativa *a* sobre a alternativa *b*, também chamado de índice de preferência da seguinte forma:

$$\pi(a,b) = \frac{1}{P} \sum_{j=1}^n p_j F_j(a,b), \quad \text{onde: } P = \sum_{j=1}^n p_j \quad (2.1)$$

O índice de preferência define a relação de sobreclassificação valorada de uma alternativa sobre a outra e é usado na determinação da ordenação das alternativas (BELTON & STEWART, 2002).

Brans et al. (1986) indicam que o próximo passo do método, é calcular os índices de sobreclassificação positivo e negativo para cada alternativa denominado de fluxos. O fluxo positivo (ou fluxo de saída), expressa o quanto uma alternativa a sobreclassifica às demais $[Q^+(a)]$. Quanto maior for $Q^+(a)$, melhor a alternativa, e é calculado da seguinte forma:

$$Q^+(a) = \sum_{b \in A} \frac{\pi(a,b)}{n-1}, \quad \text{onde } n \text{ é o número de alternativas.} \quad (2.2)$$

O fluxo negativo (ou fluxo de entrada) indica o quanto uma alternativa a é sobreclassificada pelas outras, $[Q^-(a)]$. Quanto menor for $Q^-(a)$ melhor a alternativa, calcula-se utilizando a expressão:

$$Q^-(a) = \sum_{b \in A} \frac{\pi(b,a)}{n-1} \quad (2.3)$$

Existe também o fluxo líquido de sobreclassificação que nada mais é que a diferença entre o fluxo de saída e o fluxo de entrada e representa o balanço entre a força e a fraqueza da alternativa. Quanto maior o fluxo líquido, melhor a alternativa. Calcula-se da seguinte maneira:

$$Q(a) = Q^+(a) - Q^-(a) \quad (2.4)$$

Os métodos PROMETHEE desde quando foram propostos pela primeira não cessaram de ser objeto de desenvolvimento e adaptações complementares (CAVALCANTE & ALMEIDA, 2005).

As seguintes implementações do método são descritas na literatura (BRANS & VINCKE, 1985; BRANS *et al.*, 1986; BRANS & MARESCHAL, 1992; TALEB & MARESCHAL, 1995 *apud* ALMEIDA & COSTA, 2002):

- PROMETHEE I: estabelece uma pré-ordem parcial entre as alternativas;
- PROMETHEE II: classifica as alternativas, estabelecendo uma ordem decrescente do fluxo líquido; estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas e é utilizado para a problemática de ordenação;
- PROMETHEE III: ampliação da noção de indiferença, com tratamento probabilístico dos fluxos;
- PROMETHEE IV: estabelece uma pré-ordem completa ou parcial e é utilizado para a problemática de escolha e ordenação destinada às situações em que o conjunto de soluções viáveis é contínuo;
- PROMETHEE V: depois de estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (PROMETHEE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema para as alternativas selecionadas, incorporando uma filosofia de otimização inteira.
- PROMETHEE VI – quando o decisor não está apto ou não quer definir precisamente os pesos para os critérios, pode-se especificar intervalos de possíveis valores em lugar de um valor fixo para cada peso, estabelecendo um pré-ordem completa ou parcial. É utilizado para a problemática de escolha e ordenação.

Dentre as implementações do método PROMETHEE exposta anteriormente, a que será utilizada para o desenvolvimento do modelo proposto neste trabalho é PROMETHEE V (o qual, conforme explicitado acima, leva em consideração a ordenação proveniente do PROMETHEE II).

O método PROMETHEE V não busca selecionar uma única alternativa potencial, ou apenas ordena um conjunto de alternativas da melhor para a pior, mas seleciona um conjunto de ações respeitando as restrições impostas no problema.

Segundo Abu-Taleb & Mareschal (1995), o PROMETHEE V consiste em duas etapas:

1. Primeiro se considera o problema multicritério sem restrições, depois são calculados os fluxos líquidos das alternativas e é gerado um *ranking* das alternativas obtidos com a aplicação do PROMETHEE II;
2. Na segunda etapa na integração de restrições ao problema, considerando a seguinte programação linear (0-1):

$$\text{Max} \sum_{i=1}^k \phi(a_i)x_i \quad (2.5)$$

Onde:

$$x_i \in \{1,0\} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.6)$$

n é o número de alternativas

s.a.:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i \leq C \quad (2.7)$$

Onde:

- a_i representa os valores das avaliações feita para cada alternativa sobre o critério i ;
- x_i é a variável de decisão;
- C é o valor da restrição.

Os coeficientes da função objetivo (2.5) são os valores associado ao fluxo líquido obtidos da aplicação do PROMETHEE II. Desta forma, através da programação linear inteira, é obtido um subconjunto de alternativas que satisfazem as restrições impostas no problema e também é obtido um novo fluxo líquido, onde se x é igual um (1), a alternativa foi selecionada, portanto são as melhores ações respeitando as restrições, caso contrário, x tem valor zero (0). O propósito é obter tantos fluxos de sobreclassificação quanto possível, levando em consideração as restrições que podem incluir cardinalidade, orçamento, pessoal, investimento, marketing entre outras (BRANS & MARESCHAL, 1998).

2.3 Métodos de Sobreclassificação aplicados ao gerenciamento de recursos hídricos

Decisões voltadas ao gerenciamento de recursos naturais são decisões complexas, envolvendo vários objetivos de ordem social, econômico e políticos conflitantes (LIU & STEWART, 2004).

Decisões em busca de alternativas de conservação na área urbana envolvem não só o poder público, mas também empresas concessionárias de água, indústrias que utilizam a água como fonte principal da sua linha de fabricação e a população em geral. Liu & Stewart (2004) apontam que nos últimos anos, o apoio a decisão multicritério tem sido aplicado com vigor em decisões referentes à gestão de recursos hídricos. Hallefjord & Jornsten (1986) *apud* Liu

& Stewart (2004) enfatizam que os efeitos, em longo prazo, da aplicação de métodos de apoio a decisão multicritério para problemas de gestão em recursos naturais explora soluções, gera alternativas estratégicas e obtém *insights* sobre o problema, ao invés de encontrar soluções ideais.

É possível encontrar na literatura alguns trabalhos na área de gestão ambiental que utilizam métodos de apoio a decisão multicritério para auxiliar na priorização e seleção de alternativas voltadas ao gerenciamento nas áreas de saneamento e recursos hídricos. Simonovic & Verma (2008) afirmam que uma tomada de decisão na área de recursos hídricos envolvendo múltiplos critérios de aspectos conflitantes é uma tarefa bastante complexa, e esta complexidade se deve aos seguintes fatores:

- a) A uma reflexão conjunta dos impactos econômicos, ambientais, sociais e fatores técnicos;
- b) A dificuldade em quantificar as conseqüências que são importantes na seleção de uma alternativa, e;
- c) As incertezas sobre o impacto global de uma determinada alternativa (KEENEY & WOOD, 1997 *apud* SIMONOVIC & VERMA, 2008).

Hajkowicz & Higgins (2008) citam os tipos mais comuns de decisões na gestão de recursos hídricos que são apoiadas por métodos de apoio a decisão multicritério, entre elas estão:

1. Seleção de alternativas de abastecimento de água e de alternativas de infraestrutura para armazenamento;
2. Seleção de projetos para tratamento de água sujeito a restrições orçamentárias;
3. Seleção de políticas de gestão dos recursos para uma determinada região

Abu-Taleb & Mareschal (1995) utilizaram o método PROMETHEE V para avaliar e selecionar um conjunto de alternativas potenciais para a gestão de recursos hídricos no Oriente Médio, de modo que os limitados recursos disponíveis para o desenvolvimento de projetos e programas de conservação sejam aproveitados de maneira eficiente.

Simonovic & Verma (2008) abordam uma metodologia utilizada para tratar de um problema de tratamento de águas residuais, na qual a tomada de decisão em recursos hídricos ocorre através da geração de um conjunto ótimo de Pareto *fuzzy*. Tal metodologia utiliza

soluções ideais, negativas e positivas, e um conjunto de pesos atribuídos para funções objetivo na forma triangular *fuzzy*.

Santos *et.al* (2006) utilizam as ferramentas de apoio a decisão multicritério para hierarquizar alternativas de conservação em edificações utilizando o método ELECTRE III, como forma de promover o uso eficiente da água e a sua preservação.

Haralambopoulos & Polatidis (2003), afirmam que os métodos de sobreclassificação são os mais indicados para tratar de problemas relacionados a questões de energia e planejamento ambiental. Eles relatam que os métodos de sobreclassificação possibilitam aos decisores *insights* durante a estruturação do problema, modelam de forma realista as estruturas de preferência dos decisores e podem tratar as incertezas por meio de distribuição de probabilidade, conjuntos *fuzzy* e inclusão de limiares de preferência e indiferença. Por outro lado, os autores alertam que alguns métodos de sobreclassificação, a exemplo do ELECTRE III, são complicados e de difícil entendimento por parte dos decisores.

3 MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO MEIO URBANO

A escassez de água nos centros urbanos intensifica-se gradativamente nos últimos anos. Vários fatores contribuem para agravamento do problema, dentre eles pode-se destacar:

- Aumento da população nos centros urbanos;
- Poluição dos mananciais de água;
- Perdas nas redes de distribuição;
- Falta de saneamento básico que acaba contaminando as reservas de água existentes;
- Falta de políticas de conservação;
- Fatores climáticos;
- Má gestão por parte das concessionárias responsáveis pelo abastecimento nas cidades.

Devido ao quadro em que se encontra o problema da escassez hídrica mundial, várias soluções estão sendo apresentadas com o objetivo de combater o desperdício de água e sua utilização inadequada no meio urbano.

Para se escolher fontes alternativas de abastecimento é necessário levar em consideração os custos envolvidos na aquisição, os custos decorrentes da descontinuidade do fornecimento e os custos para garantir a qualidade da água necessária para cada uso específico, garantindo a integridade e a saúde dos usuários. Deve-se também tomar cuidado com o uso indevido e falta de gestão das fontes alternativas, pois estes fatores podem colocar em risco a saúde dos consumidores e as atividades que utilizam água.

O Brasil encontra-se em uma posição privilegiada perante a maioria dos países quanto ao seu volume de recursos hídricos, pois possui 13,7% da água doce do mundo; no entanto, apresenta uma disponibilidade desigual de água. Observa-se na tabela 3.1, que cerca de 70% de água doce disponível do País concentram-se na região Norte onde se encontra a bacia Amazônica, que é habitada por menos de 7% da população. Portanto, apenas 30% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 93% da população. Observa-se também que as regiões onde a disponibilidade hídrica é menor comparada a sua população, são as regiões Nordeste e Sudeste (JÚNIOR & RIZZO, 2002).

Tabela 3.1 - Distribuição dos Recursos Hídricos e da População nas Regiões no Nordeste

REGIÃO	RECURSOS HÍDRICOS	POPULAÇÃO
Norte	68,5%	6,98%
Nordeste	3,3%	28,91%
Sul	6,5%	15,05%
Sudeste	6,0%	42,65%
Centro Oeste	15,7%	6,41%

Fonte: Adaptado de Júnior & Rizzo (2002)

Setti *et al* (2001) relatam que atualmente mais de 1 bilhão de pessoas sofrem com problemas de escassez de água, e que meados de 2025, cerca de 5,5 bilhões de pessoas estarão vivendo em áreas com moderada ou séria falta de água.

Com o aumento da demanda, surgiram inúmeros conflitos entre os usuários da água devido ao aumento da sua escassez, fazendo com que a água seja gerida como bem econômico. Essa escassez é decorrente também da poluição que afeta a qualidade da água sendo impossibilitada a sua utilização em determinadas atividades (SETTI *et al.*, 2001).

A água é um recurso natural utilizado por diversos setores e é aplicado para diversos fins. Os múltiplos usos da água podem ser classificados como consultivos, quando existem perdas em seu volume entre o que é derivado e o que retorna ao curso natural. As atividades que se enquadram nesta classificação são: o abastecimento urbano e industrial, a irrigação, a aquicultura, etc. e o uso não consultivo, ou seja, quando não há perdas de volume de água para a realização da atividade, como a navegação, geração de energia elétrica, pesca, recreação, etc. (SETTI *et al.*, 2001; BORSOI & TORRES, 1997). O quadro 3.1 mostra as diferentes formas de utilização da água, se existe derivação ou não de água. Mostra também a para os diversos tipos de uso, as perdas com relação ao uso consultivo, os requisitos de qualidade exigidos e os efeitos que cada tipo utilização ocasiona na qualidade da água.

Forma	Finalidade	Tipos de Uso	Uso Consultivo	Requisitos de Qualidade	Efeitos nas águas
Com derivação de águas	Abastecimento Urbano	Abastecimento doméstico, industrial, comercial e público	Baixo, cerca de 10% sem contar as perdas nas redes	Altos ou médios, influenciando no custo do tratamento	Poluição orgânica e bacteriológica
	Abastecimento industrial	Sanitário, de processo, incorporação ao produto, refrigeração e geração de vapor	Médio, cerca de 20%, variando com o tipo de uso e de indústria	Médios, variando com o tipo de uso	Poluição orgânica, substâncias tóxicas, elevação de temperatura
	Irrigação	Irrigação artificial de culturas agrícolas segundo diversos métodos	Alto, de 90%	Médios, dependendo do tipo de cultura	Carreamento de agrotóxicos e fertilizantes
	Abastecimento	Doméstico ou para dessedentação de animais	Baixo, 10%	Médios	Alteração na qualidade com efeitos
	Aqüicultura	Estações de pisciculturas e outras	Baixo, 10%	Altos	Carreamento de matéria orgânica
Sem derivação de águas	Geração Hidroelétrica	Acionamento de turbinas hidráulicas	Perdas por evaporação do reservatório	Baixos	Alterações no regime e na qualidade das águas
	Navegação Fluvial	Manutenção de calados mínimos e eclusas	Não há	Baixos	Lançamento de óleo e combustível
	Recreação, lazer e harmonia paisagística	Natação e outros esportes com contato direto, como iatismo e moto náutica	Lazer contemplativo	Altos, especialmente recreação de contato primário	Não há
	Pesca	Com fins comerciais de espécies naturais ou introduzidas através de estações de piscicultura	Não há	Altos, nos corpos de água corrente, lagos ou reservatórios artificiais	Alterações na qualidade após mortandade de peixes
	Assimilação de esgotos	Diluição autodepuração e transporte de esgotos urbanos e industriais	Não há	Não há	Poluições orgânicas, físicas químicas e bacteriológicas
	Usos de preservação	Vazões para assegurar o equilíbrio ecológico	Não há	Médios	Melhoria da qualidade da água

Quadro 3.1 - Usos da água

Fonte: Bart, 1987 apud Setti et al., 2001

O uso desnordeado dos recursos hídricos principalmente nos centros urbanos vem causando preocupação para os órgãos públicos, pois à medida que o tempo passa, a população

destas regiões cresce constantemente, fazendo com que haja uma necessidade de aumentar os investimentos em saneamento básico e em sistemas de abastecimento.

Segundo Hafner (2007), nos centros urbanos do Brasil, a multiplicação das favelas é um exemplo do crescimento desorganizado dos centros urbanos, isto faz com que bairros muito povoados sofram com a falta de água e de saneamento, contaminando os mananciais. Outro fator é a expansão das indústrias que utilizam água na maior parte do processamento de seus produtos e despejam seus efluentes nos mananciais e contaminando-os. A solução para este problema seria o aumento da oferta através de novas formas de captação e ampliação dos sistemas de distribuição e tratamento de água, mas esta saída está se tornando cada vez mais difícil, pois, principalmente nos centros urbanos, a captação de água está sendo feita em reservas cada vez mais distantes destes centros exigindo grandes investimentos em longo prazo.

A produção de água potável para suprir as necessidades das aglomerações urbanas encontra-se extremamente fragilizadas, devido à crescente demanda associado à falta de cultura de preservação por parte da população que ainda trata a água como sendo um recurso inesgotável.

O consumo *per capita* é definido como a quantidade de água utilizada em uma dada região dividida pela sua população. Este consumo vem aumentando ao longo do tempo, e seu valor varia de acordo com o clima, cultura, grau de desenvolvimento de uma região, classe social e renda familiar, informação e conscientização da população e, principalmente, com a sua disponibilidade hídrica. A renda, o índice de urbanização e o desenvolvimento têm uma relação importante com o aumento do consumo *per capita* de uma região. No Brasil, os estados com maior índice de desenvolvimento com São Paulo e Rio de Janeiro apresentam uma taxa média de consumo *per capita* de 165,67 l/hab.dia e 231,87 l/hab.dia respectivamente. Segundo ao Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, (2008), o consumo no Rio é estimulado principalmente pelo turismo e pela grande concentração de indústrias. Estados como Pernambuco que apresenta um consumo *per capita* de 85,14 l/hab.dia considerado baixo com relação a outros estados, porque o semi-árido nordestino impõe aos habitantes o costume de consumir pouca água.

Países mais desenvolvidos tendem a ter um consumo de água maior, nos Estados Unidos, por exemplo, a taxa de consumo *per capita* é de 1647m³/ano, já países menos desenvolvidos como Moçambique, apresentam baixa taxa de consumo *per capita* (em torno de 34m³/ano), mas mesmo assim o crescimento econômico destes países pode acarretar altos

índices de consumo de água, alertando o mundo para o aumento considerado do consumo de água nos próximos anos (HAFNER, 2007).

3.1 Ações Realizadas em outros países para o problema de escassez de água

Para amenizar o problema da escassez de água, têm sido implantadas novas tecnologias e políticas de conservação e de uso racional. Os Estados Unidos é um dos países onde se apresentam estudos que constataam o mau uso da água, desperdícios, poluição e ignorância com relação aos problemas da água (NATIONAL GEOGRAPHIC SPECIAL EDITION, 1999 *apud* LOPES, 2003). Mas em algumas regiões já estão sendo tomadas algumas providências com relação ao desperdício. Segundo o especialista norte-americano William Hoffman *s.d.* em cidades como Austin, no Texas e Nova York no início dos anos 90, foram criados programas que visavam incentivar a redução e racionalização do consumo de água potável. Em Nova York instalou, entre 1994 e 1996, mais de um milhão de bacias sanitárias economizadoras, com incentivo aos moradores e empresários para as trocas, e passou a poupar 216 milhões de litros de água por dia. Estes programas chegaram a alcançar significativos percentuais de 40% a 60% de economia de água.

Ainda de acordo com Hoffman *s.d.*, tais programas eram de concepção global e implantados por etapas. A primeira delas era a adesão voluntária dos consumidores à redução do consumo de água, em seguida eram oferecidos aos cidadãos estímulos pecuniários para, por exemplo, trocar bacias sanitárias que consomem muita água por outras mais econômicas, e, finalmente, através da legislação, os consumidores eram obrigados a aderir ao programa, com multa para quem não respeitasse a legislação. Com isso, a cidade de Nova York conseguiu instalar mais de um milhão de bacias sanitárias econômicas atingindo todas as camadas da população, economizando cerca de 216 milhões de litros de água. (<http://h2c.com.br/html>, 04 de fevereiro de 2008).

Em Portugal também se discutem problemas com relação ao desperdício e mau uso da água nos centros urbanos. Para isto foi elaborado um Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), que nada mais é que um documento que define as prioridades, metodologias e avalia os impactos e a viabilidade das medidas de conservação que são propostas pelos atores envolvidos (NEVES & NEVES, *s.d.*). Este documento tem como objetivo avaliar o uso eficiente da água nos centros urbanos, agrícolas e industriais em Portugal, e propor um conjunto de ações que permitam uma melhor utilização desse recurso.

Nele é apresentada a justificativa do programa, a sua descrição, as metas a atingir em cada setor (urbano, agrícola e industrial), sua estrutura e os mecanismos que serão utilizados para a sua implementação (PROGRAMA NACIONAL DE USO EFICIENTE DA ÁGUA, 2001).

Este documento sugere um conjunto de 87 ações, onde 50 delas são destinadas às áreas urbanas, 23 as áreas agrícolas e 14 as áreas industriais (PROGRAMA NACIONAL DE USO EFICIENTE DA ÁGUA, 2001). Estas ações estão agrupadas em quatro grandes áreas, chamadas de Áreas Programáticas (AP):

AP1: Sensibilidade, informação e educação;

AP2: Documentação, formação e apoio técnico;

AP3: Regulamentação, técnica, rotulagem e normalização;

AP4: Incentivos econômicos, financeiros e fiscais.

Visando atingir o maior público possível como:

- Consumidores domésticos, coletivos e comerciais;
- Entidades gestoras de sistemas de água potável;
- Engenheiros, arquitetos instaladores;
- Docentes e discentes;
- Agricultores;
- Indústrias (NEVES & NEVES, *s.d*)

Outra ferramenta de gestão que está sendo usada em Portugal é a auditoria no uso da água. Tais auditorias são realizadas periodicamente visando avaliar o desempenho na utilização da água e o impacto das medidas que estão sendo tomadas. Uma das fases principais desta auditoria é fazer o balanço hídrico e quantificar os diferentes usos da água a partir das medições das vazões. Sua função é obter informações para o planejamento, a implantação e a avaliação de medidas para o uso racional e eficiente da água (ALMEIDA *et al.*, 2006).

A China também passa por grandes problemas de escassez de recursos hídricos. Com o crescimento econômico ocorrido nas últimas duas décadas, as condições de vida da população vêm melhorando substancialmente, com isso houve um aumento no consumo de água pela população. Uma característica bastante significativa da elevação do volume de água consumida se deve à expansão industrial e a de alguns municípios (YANG & ZEHNDER, 2000). Esta escassez causa prejuízos ao meio de vida da população e a economia do país,

principalmente a produção de grãos, pois atinge fortemente a irrigação de áreas produtoras, consequência do uso desnorteado nas áreas urbanas. Por esse motivo, tem sido realizados estudos para solucionar o problema hídrico da China (BROWN & HALWEIL, 1998; CHEN *et al*, 1999; CONRAD *et al*, 1998; HEILIG, 1999; JIANG, 2000; LI, 1999; LIU & HE, 1996; NICKUM, 1995; 1998 *apud* YANG & ZEHNDER, 2000).

As ações desenvolvidas visam um aumento no abastecimento de água a população, com a transferência de água de uma região com mais disponibilidade para outra com problemas de escassez através de desvios feitos em rios que abasteçam ambas as regiões, e uso da água disponível de forma eficiente (BROWN & HALWEIL, 1998; CONRAD *et al.*, 1998 *apud* YANG & ZEHNDER, 2000).

De acordo com a classificação desenvolvida por Falkenmark & Widstrand (1992) para a avaliação de riquezas naturais, com relação à crise de água, acima de 1700m³/ano de água por habitante, um país tem água suficiente, entre 1700m³/ano e 1000m³/ano *per capita*, o país não apresenta *stress* hídrico, com menos de 1000m³ o país chega à escassez de água, e com menos de 500m³/ano, o país enfrenta absoluta escassez de água, classificação que engloba países do norte da África e do Oriente Médio (YANG & ZEHNDER, 2000). Dados estatísticos obtidos pela *State Statistical Bureau – SSB* (1999) mostram que o consumo *per capita* da China de 2195m³/ano o que indica que o país não sofre com problemas de escassez, mas mesmo assim a China apresenta problemas com a falta de água.

A explicação para este problema está muitas vezes relacionada com a má gestão dos recursos hídricos, a poluição e falta de um sistema eficiente de abastecimento de água (YANG & ZEHNDER, 2000).

Dentro das medidas que estão sendo tomadas para aumentar a oferta de água, incluem-se projetos de construção de desvios em alguns rios, exploração de água subterrânea, melhorias e manutenção da infra-estrutura de abastecimento de água, o tratamento e reutilização de águas residuais, e o uso de águas pluviais. Já as medidas relacionadas à demanda estão divididas em quatro categorias:

1. Condições que permitam: reforma institucional com relação aos direitos da água, e a privatização dos serviços públicos.
2. Incentivos baseados no mercado: preço da água, diminuição dos subsídios.
3. Incentivos que não são baseados no mercado: restrições de uso, quotas, controle da poluição

4. Medidas Técnicas: inovação e difusão de tecnologias para a economia de água, detecção de vazamentos (YANG & ZEHNDER, 2000).

Estas medidas irão variar dependendo das condições econômicas e naturais das áreas locais, e apesar de todas essas variações as medidas a serem tomadas visam tornar o uso mais eficiente da água disponível no país.

O Canadá também enfrenta sérios problemas com relação à água, muitos dos sistemas de abastecimento, principalmente nos centros urbanos, são anteriores a Segunda Guerra Mundial. No pós-guerra, com o crescimento populacional e econômico, os órgãos públicos do país se viram pressionados a fornecer fundos de investimento para a melhoria da infraestrutura no tratamento da água nos centros urbanos (TATE, 1990).

Uma forma de lidar com o problema de água no país foi adotar uma nova gestão que possibilitasse a implantação de novas ferramentas para uma redução no desperdício de água. Estas ferramentas de gestão foram divididas em três categorias: Técnicas Econômicas, Técnicas estruturais e operacionais, e Técnicas Sociopolíticas.

Dentro das Técnicas econômicas foi reformulada a estrutura tarifária dos municípios que antes era baseado em uma tarifação fixa, fazendo com que os usuários não tenham cuidado com o consumo de água, e passando a ser uma tarifação baseado no consumo de água que realmente é utilizada pelos usuários incluindo também os custos com manutenção na rede de abastecimento.

As Técnicas operacionais e estruturais contam com a instalação de medidores que contribuíram substancialmente para redução do consumo de água e para uma fácil detecção de vazamentos no sistema de abastecimento. Com essa ferramenta, os municípios canadenses puderam basear suas taxas de tarifação a partir do volume consumido e os usuários por sua vez tiveram um incentivo fundamental para preservar a utilização da água. Outra medida tomada pelo governo canadense foi o aumento de investimentos para a modernização dos sistemas hidrológicos que deverão ter impactos significativos em longo prazo no novo sistema de gestão implantado no país (TATE, 1990).

Entre as Técnicas Sociopolíticas se destacam atividades de educação e conscientização pública com relação à conservação e uso eficiente da água, desenvolvidos por alguns órgãos do país como *National Survival Institute* (1985) e o *Education Department of the Province of Alberta*. Outro ponto importante é a privatização de alguns dos sistemas hídricos urbanos

tendo em vista que o setor privado tem capital necessário para investir em inovação tecnológica nos sistemas de abastecimento (TATE, 1990).

Simonovic & Verma (2008) abordam uma metodologia utilizada para tratar de um problema de tratamento de águas residuais, na qual a tomada de decisão em recursos hídricos ocorre através da geração de um conjunto ótimo de Pareto *fuzzy*. Tal metodologia utiliza soluções ideais, negativas e positivas, e um conjunto de pesos atribuídos para funções objetivo na forma triangular *fuzzy*.

3.2 Programas de ações para o uso eficiente da água no Brasil

3.2.1 Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA)

No Brasil, as políticas para o uso consciente e conservação de água no meio urbano ainda são muito recentes. Em 1997, foi criado o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), que envolve parcerias com entidades representativas do setor de saneamento, organizações não governamentais, entidades normativas como ABNT, INMETRO entre outros, fabricantes de materiais e equipamentos, prestadores de serviços (público e privado), instituições de ensino e pesquisa e demais órgãos federais, no intuito de implementar medidas de conservação de água. (PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA - PNCDA, 2004)

O programa tem como objetivo geral incentivar o uso racional da água para garantir o abastecimento público, saúde pública, saneamento ambiental e eficiência dos serviços, a fim de melhorar a produtividade e eficiência do sistema atual, adiando parte dos recursos que seriam destinados a expansão dos sistemas de abastecimento. Os objetivos específicos são a definição e implementação de um conjunto de ações e ferramentas normativas, tecnológicas, econômicas e institucionais, concorrentes para uma economia efetiva do consumo de água nos centros urbanos.

O PNCDA foi elaborado em três fases, a fase I se caracteriza pela composição de 16 Documentos Técnicos de Apoio – DTA que dão início a retomada de estudos mais abrangentes na área com a inclusão de “Tecnologias dos Sistemas Públicos” que visam uma melhoria operacional no controle de perdas no âmbito da conservação urbana da água. Estas tecnologias são associadas a uma visão mais ampla de combate ao desperdício e o uso mais

eficiente da água. A fase II se define pela produção de mais quatro DTA, sua publicação e a criação de um sistema de acesso via internet.

Atualmente o programa se encontra na fase III, esta fase se caracteriza pela revisão dos DTAs já existente e pela elaboração de outros novos, além da realização de cursos de capacitação ao combate ao desperdício para diversas prestadoras de serviços de abastecimento de água nas cinco regiões do país.

As fases I e II apóiam o desenvolvimento, transferência e disseminação de tecnologias juntamente com outros órgãos que promovem o combate ao desperdício de água. A figura 3.1 mostra o escopo do PNCDA atualmente.

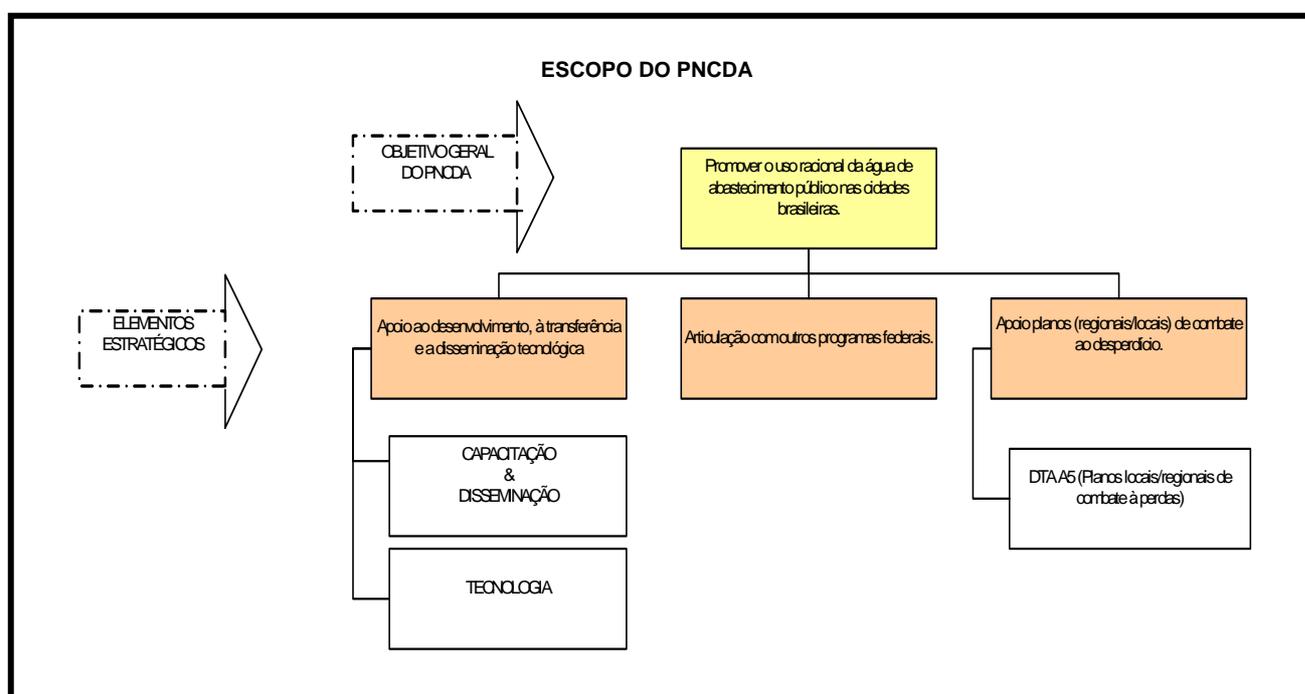


Figura 3.1 - Escopo do PNCDA (Fonte: PNCDA, Ministério das cidades, 2004)

O PNCDA organiza as ações de combate ao desperdício em três âmbitos: (i) dos sistemas de recursos hídricos, com relação à captação e conservação da água bruta dos mananciais; (ii) dos sistemas públicos de abastecimento, no que diz respeito a eficiência do uso da água desde a captação até o abastecimento do consumidor final; e (iii) dos sistemas prediais, caracterizada pelo uso racional da água pelo o usuário final (PNCDA – DOCUMENTO TÉCNICO DE APOIO – A1, 1999).

No âmbito da conservação da água bruta, as ações do programa só estão vinculadas ao consumo urbano. No âmbito dos sistemas públicos de abastecimento, o programa se preocupa na redução das perdas físicas e não físicas ocorridas durante o abastecimento. Já no âmbito

dos sistemas prediais as ações do programa estão voltadas a melhoria das instalações prediais de água e esgoto e conscientização dos usuários finais sobre o uso eficiente da água.

3.2.2 Programas de Combate ao Desperdício em várias regiões do Brasil

Em algumas regiões do país estão sendo criados programas de combate ao desperdício. Em Belém, capital do estado do Pará, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (SAAEB), possui um departamento destinado à educação sanitária e ambiental que juntamente com outros órgãos como escolas, universidades, entidades de preservação ambiental e a comunidade em geral visam promover ações de conscientização para que a população tenha uma postura mais responsável com relação ao uso racional da água, conservação e ligações clandestinas. O Programa de Combate ao Desperdício de água da SAAEB objetiva promover a conservação e o uso consciente da água no meio urbano revendo e adequando conceitos, procedimentos, métodos, controles e técnicas utilizando tecnologias adequadas à realidade da empresa para fornecer um serviço mais eficiente aos seus usuários. (SAAEB, 2008).

Uma das políticas de gestão que estão sendo analisadas pelos comitês de bacias hidrográficas é a outorga e a cobrança pelo direito de uso da água. Segundo Rebouças (2004) esta é uma das alternativas mais baratas e eficientes comparadas à construção de obras extraordinárias para garantir o abastecimento futuro, incentivando a racionalização do uso e conservação da água.

O PNCDA mostra em um dos seus Documentos Técnicos de Apoio – DTA, algumas experiências ao combate ao desperdício realizado por algumas empresas de saneamento no país. A grande maioria dessas empresas tem como ponto forte no combate ao desperdício, programas de controle de perdas como são os exemplos da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná e SANASA - Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A da cidade de Campinas/SP.

A SABESP desenvolve programas de controle de perdas de água na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) desde a década de 70. Nos anos 80 com recursos do Banco Nacional de Habitação, foi criado o Plano Estadual de Controle de Perdas – PECOP. Com o passar do tempo e com o aumento dos investimentos o programa foi reformulado e teve sua abrangência ampliada, com isso foi implantado o Programa de Controle e

Desenvolvimento de Operação – PEDOP respalda que uma ação global de planejamento, controle e desenvolvimento da operação, garantiria um resultado satisfatório com relação à redução de perdas. As atividades desenvolvidas por esse programa foram: micromedição, redução e controle de vazamentos, macromedição, pitometria, desenvolvimento da operação, cadastro de sistemas já existentes e de grandes consumidores, segurança no sistema, revisão nos critérios de projeto e construção e desenvolvimento da qualidade dos materiais e equipamentos.

Nos anos 90 a SABESP elaborou um novo programa para redução das perdas, Programa de Redução de Água Não Faturadas com o objetivo de identificar o nível real de perdas físicas e não físicas, analisando os custos e os benefícios de medidas que serão implantadas para sua redução. E também gerar lucros financeiros.

Em 1995, a empresa elaborou um Plano Alternativo para que se utilizassem os recursos da própria empresa para implantar e gerenciar programas de ações que levasse a redução de perdas de água na RMS. Essas ações tinham como objetivo reduzir os índices de perdas para 30% em dois anos e para 24% em cinco anos (PNCDA, 2004). Sua ênfase era focar nas ações rotineiras e permanentes que deveriam ser realizadas pela SABESP que permitiriam não só a redução de perdas de água no abastecimento, mas também elevar a qualidade na operação.

Atualmente a SABESP prioriza Programas Internos de Redução de Perdas - PIRP, que são derivados do Plano Alternativo exposto anteriormente. As características desses programas são descritas no Relatório Interno de Redução de Perdas da Região Metropolitana de São Paulo. Dentre as ações realizadas por esses programas pode-se destacar:

- A implantação do Programa de Uso Racional da Água – PURA, em parceria com a Universidade de São Paulo – USP, visando reduzir o consumo de água e conseqüentemente o volume de esgoto, através da utilização de equipamentos de baixo consumo, da conscientização da população para um uso mais racional do recurso, entre outras atividades desenvolvidas pelo programa;
- Implementação do programa de despoluição do Rio Tiete, com a implantação de Estações de Tratamento de Esgoto.

Essas ações se concentraram em dois objetivos:

1. Redução das perdas reais (físicas), considerando a água que é desperdiçada devido a vazamentos nas redes prediais e nas redes de abastecimento público;

2. Redução de perdas aparentes (não-físicas), decorrentes da água que não é medida pela concessionária devido a fraudes nas ligações, falta de leitura pelos hidrômetros, ligações clandestinas, etc. (PNCDA, 2004).

A SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná, a SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A da cidade de Campinas – São Paulo, CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará, EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento assim como a SAPESP, também têm como alternativa de controle ao desperdício de água, programas de controle de perdas no abastecimento urbano. Esses programas atuam sobre as “causas” do problema, ou seja, da sua origem, eliminando suas conseqüências em cada fase do processo de abastecimento e distribuição, e apresentam várias características em comum:

- Todos estes programas estão associados a mudanças estruturais e comportamentais das empresas concessionárias, como controle de qualidade, modernização dos equipamentos, planejamento estratégico, visando à integração de participação da empresa em atingir sua missão, seus objetivos e metas;
- São programas considerados essenciais e estratégicos pelas empresas;
- São programas que apresentam resultados mais rápidos com relação à redução de perdas de faturamento e de manutenção preventiva de hidrômetros, pois o retorno dos investimentos oferecidos nessa área é rápido, da ordem de meses;
- As empresas apresentam um tratamento diferenciado com relação aos seus grandes consumidores, destacando a atenção especial ao monitoramento dos consumos e o dimensionamento dos hidrômetros;
- A redução de perdas físicas se dá através da redução de pressão na rede, obtidos através da setorização ou implantação de válvulas de redução de pressão, através de um melhor desenvolvimento operacional do sistema, e também por meio de uma pesquisa de vazamentos mais minuciosa;
- Os programas de controle de perdas são considerados programas de caráter permanente e auto-sustentáveis no aspecto econômico financeiro.

Como forma de combate ao desperdício, o DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto da cidade de Porto Alegre utilizou como alternativa a substituição da sua rede de

distribuição, a meta era anualmente substituir cerca de 100 km dos 850 km de redes com alto índice de vazamentos.

A COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento, também desenvolve atividades de combate ao desperdício em áreas urbanas, um desses programas foi a implantação da medição individual em edifícios residenciais, ou seja, foi instalado em cada apartamento um hidrômetro de forma que torne possível a medição do consumo de água em cada unidade e a emissão da conta de água individualizada. Os objetivos desse programa além da redução do desperdício são a redução do consumo de energia elétrica pela redução do volume bombeado para o reservatório superior, identificação de vazamentos de difícil percepção, maior satisfação dos usuários, e diminuição do volume de efluentes de esgotos trazendo maior benefício ecológico.

Outro programa de grande importância que vem sendo desenvolvido pela empresa é o Programa de Redução de Perdas de Água, assim como os outros mostrados anteriormente ele tem como objetivo principal criar uma política consistente dentro da empresa voltada ao combate ao desperdício, não sendo apenas um mero programa ou projeto com prazo e duração pré-definidos, mas sim, um processo integrado, participativo, contínuo e evolutivo, fazendo parte da cultura da empresa. A COMPESA utilizou a metodologia apresentada pela COPASA em seu Programa de Redução de perdas desenvolvido em 2003 e criou o projeto Piloto Distrito 30 (D-30).

O projeto D-30 fica localizado no Bairro de San Martin, abrange uma área de 305,70 hectares, favorecendo uma população de 50.631 habitantes de média e baixa renda. A região abrangida pelo projeto sofria com sérios problemas de escassez de água, existia racionamento com dias alternados e mesmo assim apresentavam grande consumo de água. Para o desenvolvimento desse projeto foram realizadas algumas atividades:

1. Setorização e macromedição;
2. Micromedição com as instalação e substituição de hidrômetros;
3. Atualização do cadastro comercial;
4. Auditoria de consumo para consumos menores que 10m³/mês;
5. Pesquisa de vazamentos;
6. Controle de pressão na rede;
7. Instalação de Válvulas Redutoras de Pressão – VRP;
8. Fiscalização de usuários cortados ou suprimidos;
9. Sistema de gestão para o acompanhamento de perdas.

A idéia do projeto é fazer com que haja uma diminuição das pressões de vazão de abastecimento e mesmo assim fosse possível abastecer diariamente a região eliminando o racionamento e diminuindo o consumo. Após a realização das atividades mencionadas anteriormente, ficou constatado uma redução considerável no consumo de água para aquele Distrito. A COMPESA visto que, em decorrência dos bons resultados já encontrados com projeto D-30, começa a implantar essa nova experiência no distrito D-17 que abrange os bairros da Encruzilhada, Arruda e Rosarinho.

O Programa de Redução de Perdas de Água da COMPESA é de escala empresarial e seu processo começa a imposição de metas que eliminem o racionamento e a universalização do abastecimento de água para os próximos 4 e 8 anos. A metodologia operacional utilizada tem ênfase no gerenciamento das pressões e vazões no sistema de distribuição, mas também o programa busca arduamente incorporar a suas metas, programas educacionais e motivacionais para garantir uma participação maior da população e dos funcionários da empresa no combate ao desperdício. A figura 3.2 mostra o organograma de como é realizado o Programa de Redução de perdas da COMPESA.

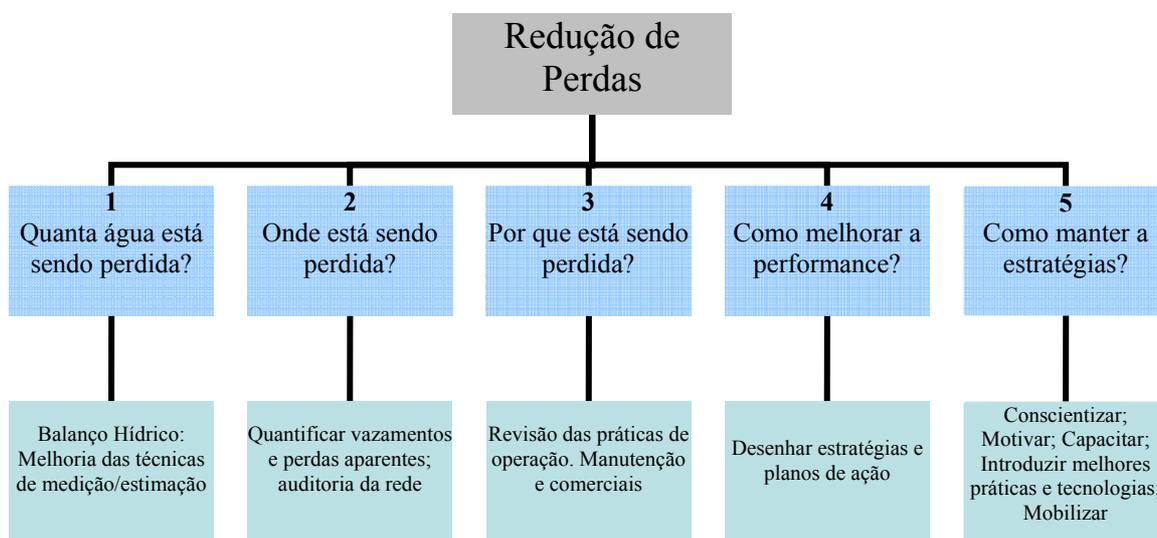


Figura 3.2 - Processo de Redução de Perdas (Fonte: COMPESA, 2007).

Para atingir as metas e diretrizes previstas no Plano Estratégico da empresa, foram definidas algumas ações:

1. Elaborar e implantar um programa continuado de comunicação sensibilizar os funcionários da empresa:

2. Elaborar e implantar um programa de capacitação continuada, contemplando todos os níveis funcionais da empresa, com foco na mudança de mentalidade nos aspectos técnicos, humanos, tecnológicos e gerenciais;
3. Elaborar e implantar um *benchmarking*, para os diferentes níveis gerenciais e de controle operacional, comparando-os com outros indicadores de desempenho utilizados na EMBASA, CAGECE e COPASA;
4. Estabelecimento de ações operacionais enfocando a causa e não a consequência;
5. Estabelecimento e difusão (treinamento, acompanhamento, aprimoramento, benchmarking) de métodos de solução de problemas relacionados a perdas condizentes com a realidade;
6. Elaboração dos procedimentos operacionais padrão;
7. Estabelecimento critérios para a análise da relação custo benefício da cada uma das ações na definição dos índices de perdas.

A coordenação do programa é de responsabilidade da Diretoria de Controle Operacional – DCO, juntamente com o Comitê de Eliminação do Racionamento e Combate às Perdas, ele é formado por superintendentes de áreas específicas, cuja função é gerir todas as ações necessárias para a consolidação do Programa de Redução de Perdas de Água da COMPESA. Apresenta quatro bases de sustentação, como representado na figura 3.3, que tem como objetivo o entendimento por toda a empresa de que o combate a perdas é prioridade estratégica para sustentabilidade da COMPESA.

Assegurar recursos financeiros para os projetos estratégicos da redução das perdas aprovados	Implementar um programa de mobilização, para dar suporte e visibilidade aos objetivos, diretrizes e inovações que traduzem o esforço da empresa no combate às perdas	Programar um Programa de Capacitação para dar suporte os desenvolvimento das ações de Combate as Perdas na base operacional	A estrutura organizacional em implementação assegurar as atividades permanentes para cuidar do combate de perdas nas unidades operacionais com o fortalecimento do nível (técnico-comercial)
Recursos Financeiros	Mobilização	Capacitação	Gestão pela Base Operacional
Base: reconhecer e tratar “perdas” como prioridade estratégica na COMPESA			

Figura 3.3 - Bases de Sustentação do programa (Fonte: COMPESA, 2007)

O maior desafio do projeto de controle de perdas está em fiscalizar todas as áreas em que o programa abrange, pois mesmo com uma fiscalização mais intensa ainda é difícil se controlar as fraudes e as ligações clandestinas existentes na rede, portanto uma das próximas atividades do programa é criar programas de educação ambiental e uso consciente da água nas regiões onde o projeto abrange, de modo a criar não só dentro da empresa uma política de conservação, mas também para a população que faz parte das comunidades abrangidas pelo programa.

4 MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO MEIO URBANO

O modelo de decisão exposto neste trabalho visa ajudar o decisor a selecionar um conjunto de alternativas potenciais que possam ser implementadas, com o objetivo de promover o uso eficiente da água e a sua conservação nos centros urbanos, precisamente na região delimitada pelo Distrito-30 que se localiza no bairro de San Martim na cidade do Recife, estado de Pernambuco.

A seleção das alternativas de conservação e uso eficiente da água no meio urbano deve ser feita mediante aspectos econômico-financeiro, ambiental, social e técnico, que serão representados pelos critérios de avaliação do decisor que levará em consideração suas preferências, seus valores pessoais, pontos de vista e a sua experiência com relação ao problema. Por esse motivo a utilização de métodos de apoio a decisão multicritério são essenciais para auxiliar na tomada de decisão que envolve muitas alternativas e muitos critérios, muitas vezes conflitantes.

Para a escolha do método, foram levados em consideração a problemática, a estrutura de preferência do decisor e o contexto do problema. Como o modelo busca a seleção de alternativas mediante restrições, é importante escolhê-lo de forma que possa atingir o objetivo esperado como resultado da aplicação do modelo.

Então visando satisfazer as condições citadas no problema, optou-se por utilizar o método da Escola Francesa que utiliza a abordagem de sobreclassificação (*outranking*), o PROMETHEE que é considerado de fácil entendimento, onde os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm significado físico ou econômico de rápida assimilação por parte do decisor (MORAIS & ALMEIDA, 2006). Dentro da família PROMETHEE, o método que mais se enquadra ao problema em questão, o PROMETHEE V. Isto porque ele gera uma pré-ordem completa das alternativas e dentro desta ordenação seleciona um subconjunto de ações respeitando as restrições impostas no problema.

O PROMETHEE V fornece inicialmente, através do PROMETHEE II, um *ranking* das alternativas com base no melhor desempenho médio das mesmas em todos os critérios. Pois não é interessante priorizar uma alternativa tenha um bom desempenho em um determinado critério e em outros critérios ela não seja tão satisfatória, ressaltando a sua característica não compensatória. E também através da programação linear inteira o PROMETHEE V é capaz

de selecionar um subconjunto das alternativas potenciais que poderão ser utilizadas para a conservação e uso eficiente da água em áreas urbanas.

O modelo é composto de quatro etapas: a primeira consiste na caracterização do problema, onde é realizado o levantamento das alternativas potenciais, das restrições e dos critérios de avaliação. A segunda etapa consiste na ponderação dos critérios, avaliação das alternativas de acordo com os critérios, avaliação das funções de preferência para cada critério e a construção da matriz de avaliação. A terceira etapa do modelo é a aplicação do método PROMETHEE V onde é realizada a priorização das alternativas utilizando o PROMETHEE II, a avaliação das restrições e a aplicação da programação linear inteira. E a quarta e última etapa é a obtenção do subconjunto de alternativas potenciais como resultado final da aplicação do modelo.

Todo esse processo é interativo, pois em qualquer fase pode haver a necessidade de voltar para a anterior visando melhorar e facilitar o processo de decisão. O fluxograma apresentado na figura 4.1, mostra a seqüência das atividades que serão desenvolvidas para a construção do modelo.

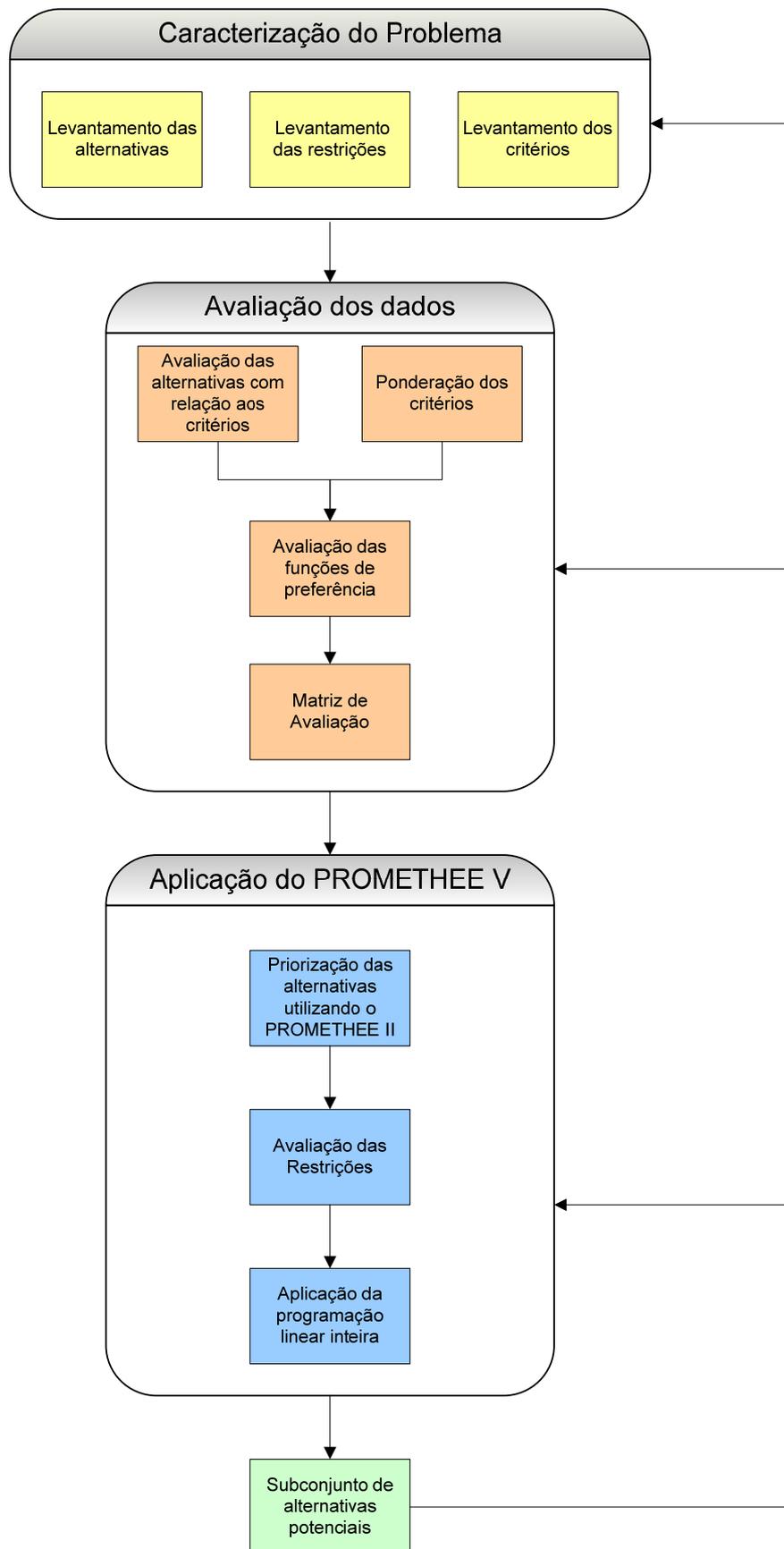


Figura 4.1- Fluxograma das atividades realizadas para a aplicação do modelo

Fonte: Autora (2008)

4.1 Levantamento das alternativas

Hajkowicz & Higgins (2008) relatam que uma alternativa de decisão é uma ação ou projeto que contribui para o alcance dos objetivos dos decisores. Gomes *et. al* (2006), enunciam também que o decisor deve ser capaz de identificar as vantagens, desvantagens e risco das alternativas em questão, de forma a encontrar a melhor solução para o problema em questão. As alternativas aqui levantadas resultam de um estudo bibliográfico apresentado no capítulo 3 desta dissertação.

A partir da situação em que se encontra hoje o problema da escassez de água nas áreas urbanas, foi possível levantar algumas alternativas que podem ser implantadas como forma de amenizar ou até mesmo solucionar o problema exposto neste trabalho.

As alternativas estão dispostas em três categorias:

- Ações voltadas à diminuição do consumo de água;
- Ações voltadas à qualidade no fornecimento de água;
- Ações voltadas à eficiência operacional do sistema.

I. Ações voltadas à diminuição do consumo de água

Reuso de águas Residuais

A reutilização da água tem sido uma das alternativas em discussão para a sua preservação. O reuso de água vem sendo utilizado a vários anos, nos Estados Unidos esta técnica já vem sendo utilizada desde a década de 20. Em 1940 as águas cloradas foram utilizadas para a fabricação de aço e nos estados da Califórnia e da Flórida, em meados dos anos 60, foram criadas políticas de reuso da água no meio urbano (RIBEIRO & KOWATA, *s.d*).

De acordo com Ribeiro & Kowata (*s.d*) está provado tecnicamente que é possível produzir água de qualquer qualidade através de processos já existentes que tratam e purificam as águas residuárias.

Mierzwa & Hespanhol (1999) consideram que a limitação de reservas de água doce, o aumento da demanda de água para ao consumo humano e as restrições que vem sendo impostas com relação à liberação dos efluentes no meio ambiente, tem feito com que se torne necessário a implantação de novas alternativas que visem maximizar a utilização dos recursos hídricos e a minimização dos impactos ambientais relativos à poluição por despejos nos

mananciais de água doce. Por isso a adoção de técnicas de reuso de água vem se destacando como uma boa alternativa de conservação.

Tal estratégia de reuso de água, embora bastante útil na solução do problema de escassez, deve ser implantada de forma planejada, evitando riscos à saúde humana e ao desempenho das atividades que utilizarão tal reuso (BRAGA *et al.*, 2005).

Algumas empresas no Brasil já estão utilizando o reuso de água como forma de preservar e economizar água. A Schering-Plough S.A é um exemplo de empresa que conseguiu racionalizar o uso de água através de investimentos voltados a construção de novas ligações e reservatórios para a captação de água utilizada na fábrica e de águas pluviais e para a adaptação do sistema existente. Com essas modificações a empresa conseguiu reduzir o consumo de água de fontes externas e suprir a demanda, diminuindo seus custos operacionais e mostrando a sua preocupação com o meio ambiente (LIGIÉRO *et al.*, 2003).

Segundo Filho & Matos (2005) o reaproveitamento dos esgotos e das águas de chuvas, tanto no meio rural como urbano, após tratamento adequado e para uso específico, por conseqüente não nobre, é um dos procedimentos atualmente aplicados para a conservação da água. Em estudo realizado na cidade de Aracaju no Estado de Sergipe, mostrou uma metodologia que pode ser aplicada em outras regiões para reutilização da água, levando-se em consideração métodos e procedimentos recomendados por normas e/ou resoluções específicas (ABNT, 1997; BIO, 2000 *apud* FILHO & MATOS, 2005). Através do reconhecimento das unidades geradoras dos esgotos fez-se a identificação das peças hidráulicas dos ambientes sanitários, torneiras de jardim e outros pontos, com possibilidades de aplicação da água de reuso.

Campanhas de Educação ambiental

Uma alternativa para evitar a escassez hídrica nas grandes cidades, é desenvolver um programa de educação ambiental conscientizando a população para o uso eficiente e evitar o desperdício de água. De acordo com Faganello *et al.* (2006), um trabalho de educação ambiental pode contribuir para a compreensão da importância da preservação do meio ambiente, em particular dos recursos hídricos, auxiliando no combate ao desperdício.

A educação ambiental surge para influenciar o comportamento e o papel do cidadão no Planeta. É através dela que se torna possível encontrar um processo de conscientização coletiva (FAGANELLO *et al.*, 2006).

Segundo Viezzer & Ovalles (1995) *apud* Faganello *et al.*, (2006) a educação ambiental proporciona o aprendizado, o emprego de novas tecnologias, aumento da produtividade, redução da degradação do meio ambiente, conhecimento e utilização de novas oportunidades e tomadas de decisões mais conscientes.

Alguns programas voltados à educação ambiental estão sendo implantados no Brasil, no estado do Pará, por exemplo, o SAAEB (Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém) possui uma equipe especializada em educação sanitária e ambiental o GESA – Grupo de Educação Sanitária e Ambiental que trabalha diretamente com as comunidades, escolas, universidades e grupos de preservação, para promover ações que possibilitem a população a ter uma postura responsável com relação ao meio ambiente, principalmente com relação à água e o saneamento básico.

As ações educacionais acompanham as mudanças comportamentais dos usuários. Estas atividades são divididas em dois públicos distintos:

- Equipe de gestão: responsável em avaliar ações de conservação que estão sendo realizadas, buscar subsídios que justifiquem os benefícios dos Programas de Conservação de água, estabelecer critérios de documentação que avaliem as ações a serem realizadas, estabelecer programas educacionais junto aos consumidores, traçar diretrizes para ações que fortaleçam a divulgação dos programas de conservação, estabelecer ações operacionais desenvolvendo critérios de medição para que haja uma melhoria contínua dos resultados obtidos e divulgar esses resultados. (MANUAL DE USO, CONSERVAÇÃO E REUSO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES, 2005).
- Demais usuários.

Implantação de dispositivos economizadores de água por parte do setor público e outros órgãos.

Dispositivos economizadores são equipamentos ou acessórios hidro-sanitários, cuja eficiência em termos de economia de água é maior do que a dos equipamentos hidro-sanitários utilizados convencionalmente. A utilização destas tecnologias, em conjunto com a conscientização sobre o uso eficiente e gestão dos sistemas hidráulicos, são atividades importantes para diminuir os índices de consumo de água.

Na década de 80, experiências internacionais comprovaram o sucesso da utilização destes dispositivos na redução do consumo de água. Nos anos 90, programas de conservação de água passaram a dar mais importância à utilização de dispositivos economizadores, pois estes garantiam uma redução do consumo de água mais automatizada. Hoje em dia, a sua utilização já é consagrada principalmente entre os grandes consumidores dos setores industriais e comerciais. (VIMIEIRO & PÁDUA, 2004).

De acordo com Grisham & Fleming (1989) *apud* Vimieiro & Pádua (2004), estudos realizados comprovam que é no banheiro onde se tem o maior consumo de água nos domicílios, cerca de 65% a 75% do consumo total do domicílio é utilizado para a higiene pessoal. Por esse motivo pode-se afirmar que o uso de tecnologias eficientes em equipamentos hidro-sanitários, como bacias sanitárias, e chuveiros pode contribuir para uma redução significativa do consumo de água de uma residência.

Para a instalação de tais tecnologias é necessário que o sistema esteja totalmente estável, ou seja, que não tenha nenhum vazamento na rede, e também que a manutenção e instalação sejam feitas por profissionais capacitados. É importante também verificar se é viável economicamente substituir os componentes convencionais por equipamentos economizadores, levando em consideração os custos da instalação, como mão-de-obra, custo dos dispositivos, e possíveis obras civis. Segundo Manual de Conservação e Reuso de Água em Edificações (2005), a especificação de componentes economizadores de água com o objetivo de reduzir o consumo de água deve ser realizada de acordo com as necessidades dos usuários a partir das observações realizadas com relação às atividades relacionadas à água, das avaliações técnicas e econômicas, e das condições físicas do sistema.

Alguns programas do governo federal, como o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), já obrigam as empresas que querem receber a certificação de qualidade a utilizarem em suas obras dispositivos economizadores de água, como forma de incentivar as organizações privadas a adotarem medidas para o consumo mais eficiente da água.

Uso de águas pluviais

O aproveitamento de águas pluviais é uma prática muito antiga, que volta a ser utilizada em países desenvolvidos, inserida em estratégias para o uso mais eficiente da água (NEVES; BERTOLO & ROSSA, 2006). A utilização de técnicas para reaproveitamento de águas da

chuva tem sido uma das alternativas para garantir a conservação água nos mananciais dos centros urbanos. O objetivo desta técnica é dar destino a águas que se acumulam em telhados, calhas e nas ruas. Desta forma a drenagem de águas pluviais acaba sendo uma forma importantíssima de evitar enchentes e empoçamentos nas grandes cidades causados pela ocupação do solo, pelo desmatamento, pavimentação que causam uma diminuição significativa da impermeabilização do solo (HAFNER, 2006).

Segundo o Manual de Conservação e Reuso de Água em Edificações (2005), os sistemas de aproveitamento de águas pluviais proporciona benefícios de conservação de água, de educação ambiental, redução do escoamento artificial consequentemente a redução da carga de água na drenagem urbana contribuindo para diminuição de enchentes e inundações.

O aproveitamento das águas pluviais está sendo cada vez mais diversificadas devido à utilização de tecnologias para garantir a economia de água, a sua captação deve ocorrer antes de se chegar ao solo para evitar a contaminação e garantir a qualidade da água. Esta qualidade irá depender de alguns fatores como intensidade e distribuição temporal e espacial da precipitação, da limpeza urbana, da época do ano e da finalidade da água no meio urbano (FIORI, 2005).

Neves, Bertolo & Rossa (2006) demonstram um sistema de aproveitamento de águas pluviais composto das seguintes etapas:

- Captação, que pode ser feita na cobertura dos edifícios e garagens, terraços, pátios, etc.;
- Pré-tratamento, que depende, naturalmente, das utilizações previstas;
- Armazenamento;
- Utilização;
- Descarga de excedentes;
- Reforço da alimentação.

De acordo com Fiori (2005) para se ter um bom aproveitamento das águas pluviais é necessário que haja um bom projeto de dimensionamento do sistema de captação e dos reservatórios, levando em consideração as condições pluviométricas do local e da demanda a ser atendida por esta fonte.

II. Ações voltadas à qualidade da água

Projeto de esgotamento sanitário nas áreas urbanas

O tratamento de esgotos urbanos e industriais é fundamental para a conservação dos recursos hídricos em padrões de qualidade compatíveis com a sua utilização para os mais diversos fins. As águas subterrâneas, embora mais protegidas da poluição, podem ser seriamente comprometidas, pois sua recuperação é mais lenta. Existem substâncias que não se auto depuram e causam poluição cumulativa das águas, com sérios riscos ao homem, à fauna e a flora, quando não tratadas e lançadas nos rios, lagos e mesmo no solo.

Como forma de evitar a contaminação dos mananciais de água potável que abastece os centros urbanos e o lençol freático, é importante que nessas áreas sejam implantados projetos de saneamento básico, como esgotamento sanitário, coleta de lixo, entre outras, como forma de garantir a qualidade da água que será utilizada, e assim, evitar o desperdício de água ocorrido devido à contaminação.

O reuso de águas residuais também pode ser caracterizado como uma alternativa de conservação que busca a qualidade da água, pois diminui a quantidade de despejos nos mananciais, conseqüentemente contribuindo para a qualidade e a diminuição do consumo da água dos mananciais de captação.

III. Ações voltadas à eficiência operacional do sistema.

Setorização da rede de distribuição de água

Nos grandes centros urbanos a rede de distribuição de água é na maioria das vezes muito extensa. Como forma de controlar e estudar melhor as condições da rede de distribuição é necessário que se faça uma setorização da rede, ou seja, é feita uma subdivisão da rede em setores menores, de forma que fique melhor para se analisar as condições da rede de distribuição.

A setorização tem como objetivos facilitar o controle de pressões na rede, através da macromedição, fazendo com que haja um monitoramento das vazões distribuídas, das pressões na tubulação, e um controle maior com relação aos vazamentos na rede, e assim combater as perdas de água durante a sua distribuição.

Controle e fiscalização de fraudes

O controle às fraudes na rede de distribuição é também uma alternativa de combate ao desperdício de água, relacionada à eficiência operacional do sistema de distribuição. Esta alternativa diz respeito à identificação dos consumos não autorizados de água.

As ações de controle de fraudes visam não só um controle de perdas que contribui para um aumento de oferta efetiva de água para novos consumidores, mas também apresenta um caráter gerencial, que possibilita o aumento da receita, melhorando as condições dos serviços prestados pela concessionária de água (COMPESA, 2007).

Controle de vazamentos na rede de abastecimento

As perdas em sistemas de abastecimento são um dos principais temas de discussões nos últimos anos. Segundo Morais (2006), as empresas de abastecimento no Brasil apresentam índices entre 30% a 60%, em média, de perdas no abastecimento, fazendo com que haja deficiências na operação, comprometendo o fornecimento de água à população, as finanças da concessionária e a credibilidade junto aos consumidores.

Em todas as etapas de um sistema de abastecimento ocorrem perdas, desde a captação até a distribuição para o usuário final. Estas perdas podem ser significativas, no entanto, podem ser resolvidas apenas com operações de manutenção.

As perdas nas redes de distribuição são decorrentes de projetos inadequados da rede, falta de controle de qualidade nos materiais utilizados, alta pressão nas tubulações, efeito do tráfego, mão-de-obra não capacitada para executar serviços nas redes de distribuição, intermitência no abastecimento, falta de setorização da rede, (ou seja, dividir a rede em setores para facilitar o controle de possíveis problemas no abastecimento à população).

Existem as perdas associadas aos usuários finais. Estas perdas são decorrentes de ligações clandestinas, fraudes nos hidrômetros (equipamento que mede o volume de água consumido por usuário); submedição do hidrômetro, ou seja, o equipamento registra valores menores do que o valor consumido e falta de educação sobre o uso adequado da água.

O quadro 4.1, mostra um resumo das alternativas que foram enunciadas anteriormente, com as suas respectivas representações.

<i>Alternativas</i>	<i>Representação</i>
I. Ações voltadas à diminuição do consumo de água	
Reuso de águas Residuais	A1
Campanhas de Educação ambiental	A2
Implantação e Obrigatoriedade do uso de dispositivos economizadores de água por parte do setor público e outros órgãos.	A3
Uso de águas pluviais	A4
II. Ações voltadas à qualidade da água	
Projeto de esgotamento sanitário nas áreas urbanas	A5
III. Ações voltadas à eficiência operacional do sistema.	
Setorização da rede de distribuição de água	A6
Controle e fiscalização de fraudes	A7
Controle de vazamentos na rede de abastecimento	A8

Quadro 4.1 – Representação da alternativas potenciais

Fonte: Autora (2008)

4.2 Levantamento dos critérios

A partir do estudo realizado pelo analista e de entrevista realizada com o decisor, especialista na área de recursos hídricos, levando em consideração o seu sistema de valor, identificaram-se critérios que serão analisados para que se obtenha uma melhor decisão a respeito das alternativas a se implementar. A determinação dos critérios levou em consideração aspectos econômicos, sociais, ambientais e operacionais as condições atuais do problema de escassez de água nos centros urbanos, o caráter de urgência de levantar medidas de conservação e uso eficiente da água, e ainda o conhecimento de órgãos e entidades interessadas na questão. A determinação de critérios adequados é crucial para a eficiência e eficácia do método. Os critérios identificados são apresentados no Quadro 4.2.

	CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
Critério C1	Investimento inicial	Corresponde ao valor monetário investido para a implantação da ação dados em Reais (R\$). Quanto menor o valor, melhor a alternativa
Critério C2	Custo de manutenção da ação	Corresponde ao valor monetário do custo de se manter a ação em funcionamento dados em Reais (R\$). Quanto menor o valor, melhor a alternativa.
Critério C3	Tempo de resposta da ação implantada	Corresponde a tempo necessário para se obter o resultado das ações implantadas dado em meses. Quanto menor o valor, melhor a alternativa.
Critério C4	Impacto das alternativas sobre a população envolvida	Corresponde ao nível de aceitação ou rejeição pela população da ação.
Critério C5	Eficiência da ação	Corresponde a verificar se os resultados obtidos com a implantação das alternativas estão de acordo com os objetivos esperados pelo decisor sobre determinada alternativa.
Critério C6	Redução do consumo	Verifica se houve redução do volume de água consumido após a implantação da ação.

Quadro 4.2 - Representação e descrição dos critérios de avaliação

Fonte: Autora (2008)

4.3 Ponderação dos critérios

Nesta etapa, são definidos os pesos dos critérios de acordo com as preferências do decisor, ou seja, ele avalia os pesos expressando a importância para cada critério de acordo com o seu sistema de valor.

Inicialmente é pedido ao decisor (especialista na gestão de recursos hídricos), que ordene os critérios de acordo com as suas preferências. Posteriormente, o mesmo deve atribuir um peso de 0 a 10 a cada critério. Antes de atribuir os pesos, os decisores devem entender o significado dos critérios e entender como eles serão avaliados dentro dos respectivos níveis de escala.

Deve ficar claro para o decisor que o peso de um critério representa a importância que este tem em relação aos demais, ou seja, o peso é uma medida de importância relativa entre critérios.

Após a atribuição dos pesos por pelo decisor, o analista deve realizar a normalização das medidas, dividindo cada peso pela soma total dos pesos, de modo que a soma dos pesos normalizados seja igual a um.

4.4 Avaliação das alternativas com relação aos critérios

Para o caso em estudo, os critérios como investimento inicial (C1), custo de manutenção da ação (C2) e tempo de resposta da ação implantada (C3) são avaliadas de acordo com

estimativas cedidas por órgão competentes que no caso do nosso problema em questão, o órgão responsável é a COMPESA e também por pesquisas que identificam onde as mesmas ações são realizadas. Estes critérios possibilitam uma comparação objetiva levando em consideração o custo monetário para a implantação da alternativa.

Os demais critérios (C4, C5 e C6) apresentam um caráter subjetivo, ou seja, não possuem valores claros que possibilitem um julgamento mais preciso das alternativas, por isso serão avaliados através de uma escala verbal que posteriormente será transformada em uma escala numérica permitindo uma maior facilidade e simplicidade na aplicação do método garantindo uma maior objetividade nos resultados.

As tabelas 4.1, 4.2, 4.3, expressam a avaliação dos critérios na escala verbal e a sua conversão para a escala numérica.

Tabela 4.1 - avaliação da escala e conversão da escala verbal para escala numérica para o critério C4

Critério(C4): Impacto das alternativas sobre a população envolvida		
Nível da Escala verbal	Descrição	Escala numérica
Muito alto	A alternativa a ser implantada causará impactos positivos para a população	1,00
Alto	A alternativa a ser implantada causará poucos impactos positivos para a população	0,75
Razoável	A alternativa a ser implantada causará impacto positivos e negativos para a população da região envolvida	0,50
Baixo	A alternativa a ser implantada causará impacto negativos sobre a população.	0,25
Muito baixo	A alternativa a ser implantada não causará impacto nenhum sobre a sociedade.	0,00

Fonte: Autora (2008)

Tabela 4.2 - avaliação da escala e conversão da escala verbal para escala numérica para o critério C5

Critério(C5): Eficiência da ação		
Nível da Escala verbal	Descrição	Escala numérica
Muito alto	A alternativa a ser implantada alcançará todos os objetivos almejados pelo decisor.	1,00
Alto	A alternativa a ser implantada alcançará quatro dos objetivos almejados pelo decisor.	0,75
Razoável	A alternativa a ser implantada alcançará dois dos objetivos almejados pelo decisor.	0,50
Baixo	A alternativa a ser implantada alcançará apenas um dos objetivos almejados pelo decisor.	0,25
Muito baixo	A alternativa a ser implantada não atingirá nenhum dos objetivos	0,00

Fonte: Autora (2008)

Tabela 4.3 - avaliação da escala e conversão da escala verbal para escala numérica para o critério C6

Critério(C6): Redução do consumo		
Nível da Escala verbal	Descrição	Escala numérica
Muito alto	A alternativa a ser implantada proporciona uma grande redução do consumo de água, cerca de 60% a 40%	1,00
Alto	A alternativa a ser implantada uma considerável redução do consumo de água, cerca de 40% a 30%	0,75
Razoável	A alternativa a ser implantada proporciona uma pequena redução do consumo de água, cerca de 30% a 10%	0,50
Baixo	A alternativa a ser implantada proporciona uma redução quase imperceptível do consumo de água de 10% a 5%	0,25
Muito baixo	A alternativa a ser implantada não proporciona nenhuma redução do consumo de água, em percentuais inferiores a 5%.	0,00

Fonte: Autora (2008)

O critério (C4), “Impacto das alternativas sobre a população envolvida” é mensurado com relação aos impactos que serão percebidos pela população na região onde serão implantadas as alternativas. Esses impactos podem ser negativos e positivos. Entre os impactos positivos pode-se listar:

- A população irá perceber os resultados da ação implantada e aceitará positivamente a sua implantação;
- Com a redução do consumo, conseqüentemente uma redução no valor da conta de água;
- A população terá uma melhora na qualidade do abastecimento de água;
- A população terá uma melhor eficiência nos serviços prestados pela concessionária de água;
- A população terá o abastecimento de água regularizado.

Dentre os impactos negativos destaca-se:

- Aumento da tarifa de água cobrada a população;
- O abastecimento de água não será regularizado apenas com a implantação da ação;
- Não haverá redução do desperdício de água pela população.

O critério (C5) “Eficiência da ação” é mensurado baseando-se nos objetivos almejados pelo decisor com a implantação da ação, estes objetivos são:

- Aumento da receita tarifária;

- Melhoria na qualidade dos serviços prestados refletindo na satisfação dos usuários;
- Ampliação da oferta efetiva de água.
- Confiabilidade e segurança operacional.

4.5 Avaliação das funções de preferência

No método PROMETHEE, para cada critério, define-se uma função de preferência. A função de preferência representa a forma como a preferência do decisor aumenta com a diferença de desempenho entre alternativas para um dado critério. Para cada critério deve ser definida uma $F_j(a,b)$ que assume valores entre 0 e 1 e cujos valores aumentam se a diferença de desempenho entre alternativa a e a alternativa b aumenta e é igual a zero se o desempenho de a é igual ou inferior ao desempenho de b (BELTON & STEWART, 2002).

A escolha das funções de preferência é uma etapa importantíssima do processo e exige do decisor um conhecimento detalhado sobre o significado dos critérios. Algumas funções exigem que o decisor expresse os limiares acima dos quais existe preferência de uma alternativa sobre outra, parâmetro p , e os limiares abaixo dos quais existe indiferença entre alternativas, parâmetro q . O decisor deve escolher uma das seis funções sugeridas pelo PROMETHEE e apresentadas no Quadro 2.1 e expressar os respectivos parâmetros p e q , quando necessários.

Alguns autores recomendam para determinados tipos de critério, uma função de preferência específica. Keyser & Peeters (1996), por exemplo, indicam que para critérios cuja avaliação é feita de forma subjetiva, ou seja, por meio de escala verbal, a função de preferência mais adequada é a Tipo I.

4.6 Matriz de avaliação

O próximo passo é construir uma matriz de avaliação das alternativas de preferência com relação a um determinado critério. Para isso é necessário se definir inicialmente uma função de preferência $F_j(a,b)$ que determina a intensidade de preferência de uma alternativa a sobre uma alternativa b com relação ao critério j . Estas funções podem ser determinadas de acordo com o quadro 2.3 presente no capítulo 2 desta dissertação. Quanto mais $F_j(a,b)$ se aproxima de 1, maior se torna a preferência sobre a alternativa a em relação a alternativa b .

Com os valores das funções de preferência e dos pesos de cada critério é calculado o índice de preferência $\pi(a,b)$ que corresponde ao grau de sobreclassificação da alternativa a sobre a alternativa b . A expressão para o cálculo de índice de preferência é a 2.1 e encontra-se no capítulo 2.

Depois de calculados os valores dos índices de preferência, calculam-se os fluxos positivos (ou fluxo de saída), $Q^+(a)$, que expressa o quanto uma alternativa a sobreclassifica às demais, e o fluxo negativo (ou fluxo de entrada), $Q^-(a)$, que indica o quanto uma alternativa a é sobreclassificada pelas outras. As expressões de cálculo para os dois fluxos são respectivamente 2.2 e 2.3.

Com os valores dos índices de preferência e dos fluxos de entrada e saída, monta-se uma matriz alternativa por alternativa, onde em cada célula coloca-se o índice de preferência $\pi(a,b)$ da alternativa da linha sobre a alternativa da coluna de avaliação das alternativas, de modo que a soma dos índices de preferência de uma linha representa o fluxo positivo da alternativa desta linha e a soma dos índices de preferência de uma coluna representa o fluxo negativo da alternativa desta coluna, representada pela tabela 4.4

Tabela 4.4 – Matriz de avaliação das alternativas.

Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Fluxo positivo
A1	$\pi(A1,A1)$	$\pi(A1,A2)$...					$\pi(A1,A8)$	$Q^+(A1)$
A2	$\pi(A2,A1)$								$Q^+(A2)$
A3	\vdots								$Q^+(A3)$
A4									$Q^+(A4)$
A5									$Q^+(A5)$
A6									$Q^+(A6)$
A7									$Q^+(A7)$
A8	$\pi(A8,A1)$							$\pi(A8,A8)$	$Q^+(A8)$
Fluxo negativo	$Q^-(A1),$	$Q^-(A2),$	$Q^-(A3),$	$Q^-(A4),$	$Q^-(A5),$	$Q^-(A6),$	$Q^-(A7),$	$Q^-(A8),$	

Fonte: Autora (2008)

A partir do cálculo dos fluxos de entrada e saída, se obtém o fluxo líquido de cada alternativa, que é a diferença entre o fluxo de saída e o fluxo de entrada e que representa o balanço entre a força e a fraqueza da alternativa. E assim se obtém uma ordenação completa das alternativas como propõe o método PROMETHEE II, evitando a incomparabilidade das alternativas.

Após se obter o ranking das alternativas, é aplicada a segunda fase do PROMETHEE V que consiste na aplicação da programação inteira sob as condições impostas pelas restrições e,

com o resultado obtido, se encontra um subconjunto de alternativas de conservação e uso eficiente da água no meio urbano.

4.7 Levantamento das Restrições

No PROMETHEE V, o levantamento das restrições do problema é um ponto importante para a aplicação do método e assim, obter um subconjunto das alternativas de conservação poderão ser aplicadas pelo decisor.

Abu-Taleb & Mareschal (1995) afirmam que dentro da área de recursos hídricos existe uma série de parâmetros que podem ser levados em consideração no levantamento das restrições lineares para o problema de decisão. Esses parâmetros podem expressar limitações orçamentárias, dispersão geográfica, impactos ambientais, entre outros.

A avaliação das restrições do problema baseia-se nos critérios levantados no problema e as limitações dos parâmetros podem ser definidas pelo decisor. Uma restrição orçamentária, baseada no critério custo de implantação da ação, pode ser definida mediante as condições financeiras disponíveis para a aplicação das alternativas, e esta disponibilidade de recursos pode ser estipulada pelo decisor para aplicação do modelo.

Nos problemas relacionados a recursos hídricos é possível encontrar algumas outras restrições características deste problema, como por exemplo, restrições com relação a limitações da área geográfica, restrições com relação ao tempo de execução das ações a serem implantadas, restrições com relação às condições técnicas para a implantação das ações e também com relação aos impactos ambientais que poderão ocorrer com a aplicação da ação (ABU-TALEB & MARESCHAL, 1995).

As restrições podem ser representadas da seguinte forma:

$$\sum_{i=1} a_i x_i \leq C$$

Onde:

- a_i representa os valores das avaliações feita para cada alternativa sobre o critério i ;
- x_i é a variável de decisão;
- C é o valor da restrição.

5 APLICAÇÃO NUMÉRICA

Para a aplicação numérica do modelo forma levados em consideração as informações obtidas durante o processo de caracterização do problema. A região a ser aplicado o modelo é o Distrito – 30 que se localiza no Bairro de San Martin na região metropolitana de Recife, RMR, estado de Pernambuco. O distrito apresenta uma área de 305,70 hectares, ocupada por uma população de 50.631 habitantes, caracterizada por ser de urbanização de média a baixa renda com focos de pobreza.

Esta região enfrentava graves problemas com relação à disponibilidade de água. Como alternativa emergencial foi implantada na região o racionamento de rotatividade de 20 dias com água durante 28 horas, por mês. Apesar da implantação do rodízio de água, a região ainda apresentava um alto consumo de água, registrada pela COMPESA. Com o intuito de acabar com o racionamento de água na RMR, a COMPESA implantou um programa de controle e redução de perdas de água, e o Distrito-30 foi o primeiro a ser escolhido em função da facilidade de se deixar o mesmo com água por 24 horas durante 30 dias ao mês, com o menor número de manobras necessárias. A figura 5.1 mostra a setorização área onde está sendo implantado o programa de redução de perdas da COMPESA.

Dentro do problema em estudo pode-se identificar como atores do processo a população da área onde será realizado o estudo, o responsável pela coordenação do programa de redução de perdas da COMPESA, representada pelo engenheiro representante do departamento de controle operacional da empresa, sendo identificado como decisor do caso em questão.

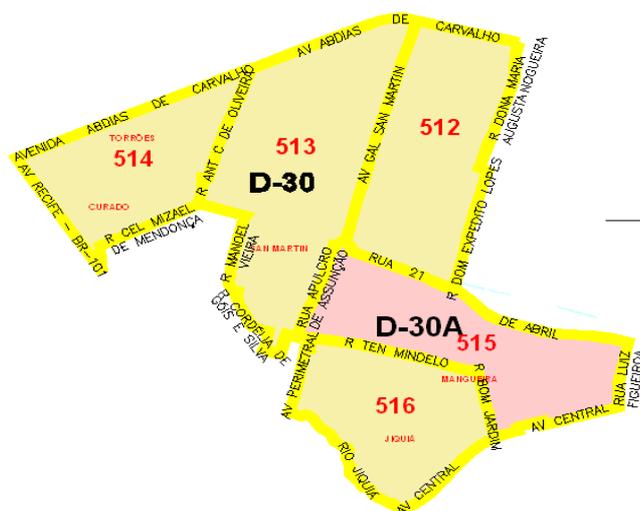


Figura 5.1 – Setorização do Distrito-30

Fonte: COMPESA (2008)

Como se trata de uma região situada na zona urbana é possível se aplicar o modelo, analisar os resultados e implantar em outras localidades servindo como um referencial para a aplicação de métodos de apoio a decisão multicritério na busca de alternativas de conservação e uso eficiente da água em áreas urbanas.

5.1 Avaliação das alternativas

Nesta etapa são avaliadas as alternativas de acordo com os critérios levantados, tanto em valor absoluto como em relação à importância relativa das alternativas. Estas avaliações são instrumentos de grande importância para o desenvolvimento do modelo, pois elas são responsáveis por gerar os dados para aplicação do mesmo e revelar as preferências do decisor com relação ao resultado final do processo de decisão.

As alternativas e os critérios foram codificados, conforme quadro 4.1 e 4.2, respectivamente, do capítulo 4 deste trabalho, como forma de facilitar para o leitor o entendimento da aplicação do modelo. Nesta fase, também foram realizadas entrevistas com o decisor para obter as avaliações das alternativas de acordo com os critérios e os pesos levantados para cada um deles.

Com relação ao critério C1 (investimento inicial), foram levantados alguns valores para melhor avaliação das alternativas. Para a alternativa A1 (Reuso de água), foi feita uma estimativa de valores por habitante a partir de um estudo realizado para a avaliação dos sistemas de reuso de água em empreendimentos imobiliários da cidade de São Paulo (MIERZWA *et. al, s.d*). Para a população do D-30 que é de 50.631 habitantes, se chegou ao um valor médio de R\$ 28.000.000,00 (Vinte e oito milhões de Reais).

Para o mesmo critério, a alternativa A2 (Educação Ambiental) teve seu valor estipulado da mesma forma que a alternativa A1, só que com base em dados de um plano de campanha educativa realizado para o município de Caruaru, no estado de Pernambuco. Assim foi obtido um valor aproximado para a população do D-30 de R\$ 36.000,00 (Trinta e seis mil Reais). O mesmo cálculo foi realizado para as alternativas A3, A4 e A5. A alternativa A3 se baseou em estudos realizados na cidade de Moreno em 2002, no estado de Pernambuco e obteve um valor de R\$ 210.000,00 (duzentos e dez mil Reais). Para a alternativa A4, foram utilizados dados fornecidos pelo Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria do SENAI – Rio de Janeiro, o valor da alternativa foi R\$ 15.000.000,00 (Quinze milhões de Reais). E a alternativa A5 foi estipulada a partir de dados fornecidos pela Secretária de Recursos Hídricos

do Estado de Pernambuco para os bairros do Ipsep e Imbiribeira em Recife e o valor obtido foi R\$ 27.000.000,00 (Vinte e sete milhões de Reais).

Os valores das demais alternativas foram obtidos com dados solicitados a COMPESA para o projeto D-30.

A avaliação das alternativas com relação aos critérios “Custo de Manutenção” foi baseada em dados relatados pela COMPESA e por estimativa de cálculo como exposto anteriormente para o cálculo das alternativas com relação ao critério “Investimento inicial”. Para a alternativa A1 (Reuso de água), foi utilizada a mesma estimativa de valores baseada no estudo realizado para a avaliação dos sistemas de reuso de água em empreendimentos imobiliários da cidade de São Paulo (MIERZWA *et. al, s.d*). Para a população do D-30 foi obtido um valor de custo de manutenção mensal de aproximadamente R\$ 1.700.000,00 (Um milhão e setecentos mil reais). Para a alternativa A4, foram utilizados dados fornecidos pelo Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria do SENAI – Rio de Janeiro, o valor da alternativa foi de aproximadamente R\$ 1.000.000,00 (Um milhão de Reais). O valor do custo de manutenção para a alternativa A5 foi fornecida pela COMPESA.

A avaliação do critério (C3) “Tempo de Resposta” foi feita com base no conhecimento e experiência de especialistas.

A avaliação das alternativas com relação aos demais critérios foi realizada pelo decisor, a partir de julgamentos subjetivos apresentados nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 e que depois foram convertidos para escala numérica.

Obteve-se uma matriz de avaliação das alternativas para cada critério, conforme quadro 5.1.

Tabela 5.1 Matriz de avaliação das alternativas para cada critério

Alternativas	Critérios					
	C1 (R\$)	C2 (R\$/mês)	C3 (meses)	C4	C5	C6
A1	28.000.000,00	1.700.000,00	15	alto	alto	muito alto
A2	36.000,00	0,00	6	muito alto	regular	muito baixo
A3	210.000,00	0,00	12	alto	alto	alto
A4	15.000.000,00	1.000.000,00	24	alto	alto	muito alto
A5	27.000.000,00	25.000,00	4	regular	muito alto	baixo
A6	55.000,00	11.500,00	2	muito fraco	muito alto	regular
A7	26.000,00	24.000,00	1	regular	muito alto	alto
A8	25.000,00	24.000,00	1	fraco	muito alto	muito alto

Fonte: Autora (2008)

Diante dos valores atribuídos na escala verbal para os critérios de natureza subjetiva como C4, C5 e C6, a matriz de avaliação das alternativas ficou conforme quadro 5.2.

Tabela 5.2 - Matriz de avaliação das alternativas para cada critério

Alternativas	Critérios					
	C1 (R\$)	C2 (R\$/mês)	C3 (meses)	C4	C5	C6
A1	28.000.000,00	1.700.000,00	15	0,75	0,75	1,00
A2	36.000,00	0,00	6	1,00	0,50	0,00
A3	210.000,00	0,00	12	0,75	0,75	0,75
A4	15.000.000,00	1.000.000,00	24	0,75	0,75	1,00
A5	27.000.000,00	25.000,00	1	0,50	1,00	0,25
A6	55.000,00	11.500,00	2	0,00	1,00	0,50
A7	26.000,00	24.000,00	1	0,50	1,00	0,75
A8	25.000,00	24.000,00	1	0,25	1,00	1,00

Fonte: Autora (2008)

5.2 Pesos dos critérios

O decisor deve atribuir um peso para cada critério dentro de uma faixa de valores que varia de 0 a 10, esses pesos devem significar a importância relativa daquele critério para o decisor. Para este trabalho foi utilizado a metodologia de avaliação direta dos critérios. Inicialmente foi pedido que o decisor ordenasse os critérios de acordo com seu grau de importância e depois para cada um foi dado um valor dentro da faixa de valores estipulada anteriormente. Após a atribuição dos pesos pelo decisor, foi realizada a normalização das medidas, dividindo cada peso pela soma total dos pesos, de modo que esta soma seja igual a 1. O resultado final da ponderação dos critérios encontra-se na tabela 5.3.

A ordenação ficou da seguinte forma:

Tabela 5.3 – Ordenação do critérios segundo as preferência do decisor

Ordenação	Critérios	Pesos Normalizados
1º	C6	0,26
2º	C1	0,23
3º	C2	0,21
4º	C5	0,15
5º	C3	0,10
6º	C4	0,05

Fonte: Autora (2008)

5.3 Escolha das funções de preferência

A escolha das funções de preferência deve levar em consideração a forma como o decisor avalia cada critério. Elas transformam a diferença entre duas avaliações em um determinado critério para um valor real entre 0 e 1. Alguns autores recomendam para determinados tipos de critério, uma função de preferência específica. Keyser & Peeters (1996), por exemplo, indicam que para critérios cuja avaliação é feito de forma subjetiva, ou seja, por meio de escala verbal, a função de preferência mais adequada é a Tipo I.

Realizou-se, para o decisor, uma breve explanação sobre a importância das funções de preferência para a aplicação do método PROMETHEE, e juntamente com as informações obtidas em pesquisa bibliográfica, foi possível determinar as funções de preferência para os critérios apresentados no modelo.

Para o problema em questão os critérios C4, C5 e C6 são de natureza subjetiva, então foi utilizada a recomendação indicado por Keyser & Peeters (1996) onde critérios desse tipo são mais bem avaliados se analisados utilizando a função de preferência Critério Usual – Tipo I.

Para os critérios C1 e C2, que representam custos, decidiu-se por considerar que a preferência do decisor por uma alternativa com relação à outra cresce linearmente com a diferença de desempenho entre elas, e que a partir de um determinado limiar uma alternativa é estritamente preferível a outra. Dessa forma foi utilizada a função de preferência Critério de Preferência linear – Tipo III. O critério C3 foi analisado a partir da função de preferência Quase-Critério – Tipo II.

Tabela 5.4 – Funções de preferência

<i>Critérios</i>	<i>Função de Preferência</i>	<i>Parâmetros</i>
C1	Critério de preferência linear - Tipo III	p = 150.000
C2	Critério de preferência linear - Tipo III	p = 50.000
C3	Quase- Critério - Tipo II	q = 6
C4	Critério Usual - Tipo I	-
C5	Critério Usual - Tipo I	-
C6	Critério Usual - Tipo I	-

Fonte: Autora (2008)

5.4 Priorização das alternativas

Com as avaliações das alternativas, a determinação do peso dos critérios e a escolha da função de preferência para cada critério, é calculada a matriz de intensidade de preferência para cada critério. Estes cálculos foram realizados em planilha eletrônica *Excel Microsoft* e encontram-se no Apêndice 1 deste no final deste trabalho.

A próxima etapa do modelo é calcular os índices de preferência para cada alternativa segundo a equação (2.1) apresentada no capítulo 2 desta dissertação, ou seja, o somatório de todas as intensidades de preferência encontradas em cada critério. Com isso se obtém a matriz dos índices de preferência entre as alternativas.

Tabela 5.5 – Índices de preferência

$\pi(a,b) = 1/P \sum p_i F_i(a,b)$								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	1,00	0,64	0,49	0,74	0,69	0,69	0,54
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
A3	0,00	0,69	0,00	0,05	0,25	0,48	0,33	0,33
A4	0,10	0,95	0,69	0,00	0,46	0,69	0,69	0,54
A5	0,26	0,80	0,60	0,54	0,00	0,29	0,23	0,23
A6	0,26	0,54	0,36	0,31	0,20	0,00	0,04	0,05
A7	0,26	0,56	0,41	0,31	0,20	0,20	0,00	0,00
A8	0,26	0,56	0,56	0,31	0,20	0,20	0,15	0,00

Fonte: Autora (2008)

A partir do cálculo dos índices de preferência, se obtém os fluxos de entrada, de saída e os fluxos líquidos das alternativas, e com isso é possível chegar ao *ranking* das alternativas potenciais de uso e conservação de água no meio urbano.

Tabela 5.6 – Resultado dos fluxos encontrados

Alternativas	Fluxos			Posição das alternativas
	Positivo	Negativo	Líquido	
A1	4,79	1,14	3,65	1°
A2	0,03	5,09	-5,06	8°
A3	2,13	3,25	-1,12	7°
A4	4,12	2,01	2,11	2°
A5	2,95	2,05	0,90	3°
A6	1,76	2,55	-0,80	6°
A7	1,95	2,15	-0,21	5°
A8	2,24	1,71	0,54	4°

Fonte: Autora (2008)

5.5 Levantamento das restrições e aplicação da programação linear inteira

O PROMETHEE V trabalha sob a ótica da seleção de alternativas mediante restrições existentes no problema. O levantamento dessas restrições pode levar vários aspectos importantes para o decisor. Dentro da área de recursos hídricos existe uma série de parâmetros que podem ser levados em consideração no levantamento das restrições lineares para o problema de decisão. Esses parâmetros podem expressar limitações orçamentárias, dispersão geográfica, impactos ambientais, entre outros (ABU-TALEB & MARESCHAL, 1995).

Para o problema em questão, serão adotadas como restrição do problema, limitações orçamentárias para a implantação das alternativas por parte do setor público, ou seja, será estipulado que o governo estadual irá limitar um orçamento para implantações das alternativas de conservação de água no meio urbano, num valor de aproximadamente R\$ 10.000.000,00 (Dez milhões de Reais). Então dentro desta limitação terá de se encontrar um subconjunto de alternativas viáveis que podem ser implantadas com esses recursos. E também, será limitado o tempo de resposta da alternativa implantada, o governo espera obter resultados no prazo máximo de um ano e meio, ou seja, 18 meses.

Conforme procedimento do PROMETHHE V, os coeficientes da função objetivo correspondem aos fluxos líquidos obtidos no PROMETHEE II. Portanto:

$$\text{Max } Z = 3,63x_{A1} - 5,06x_{A2} - 1,12x_{A3} + 2,11x_{A4} + 0,90x_{A5} - 0,80x_{A6} - 0,21x_{A7} + 0,54x_{A8}$$

Sujeito a:

“Restrição orçamentária”

$$28.000.000x_{A1} + 36.000x_{A2} + 210.000x_{A3} + 15.000.000x_{A4} + 27.000.000x_{A5} + 55.000x_{A6} + 26.000x_{A7} + 25.000x_{A8} \leq 10.000.000$$

“Restrição tempo de resposta”

$$15x_{A1} + 6x_{A2} + 12x_{A3} + 24x_{A4} + x_{A5} + 2x_{A6} + x_{A7} + x_{A8} \leq 18$$

A variável de decisão x_{Ai} corresponde à variável que representa a alternativa do problema, por exemplo x_{A1} corresponde a alternativa A1. A solução do problema é dada da seguinte forma; se a variável de decisão x_{Ai} tomar valor 1, significa que esta alternativa faz parte do

subconjunto de soluções viáveis. Caso x_{Ai} receba valor 0, isso implica que a alternativa não faz parte do subconjunto de soluções viáveis.

Utilizando o recurso *Solver do Excel Microsoft*, foi obtido o seguinte resultado:

Tabela 5.7 – Alternativas selecionadas após a aplicação da programação inteira

Variáveis de decisão	Valor final
x_{A1}	0,00
x_{A2}	1,00
x_{A3}	0,00
x_{A4}	0,00
x_{A5}	0,00
x_{A6}	1,00
x_{A7}	1,00
x_{A8}	1,00

Fonte: Autora (2008)

O subconjunto de alternativas potenciais selecionadas após aplicação da programação linear inteira (0 – 1), encontra-se relacionado na tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Subconjunto das alternativas potenciais

Alternativas	Representação
Campanhas de Educação ambiental	A2
Setorização da rede de distribuição de água	A6
Controle e fiscalização de fraudes	A7
Controle de vazamentos na rede de abastecimento	A8

Fonte: Autora (2008).

Valor máximo da função objetivo: $Z_{Max} = 6,61$

Pode-se observar que na aplicação do método PROMETHEE V, acrescentando duas restrições, de orçamento e tempo, o número de alternativas potenciais a ser aplicada, visando à conservação e o uso eficiente de água no meio urbano, diminui consideravelmente. Mas em compensação essas alternativas, são as mais recomendáveis dentro das restrições impostas, para a implantação de um programa de conservação de água no meio urbano, no Distrito D-30 na Região Metropolitana de Recife.

Dentro das oito alternativas levantadas no capítulo 4 deste trabalho, com a aplicação do método PROMETHEE V, sob as restrições de orçamento e tempo, as alternativas selecionadas para serem usadas dentro do projeto piloto D-30 são: “Campanhas de Educação Ambiental”, “Setorização da rede de distribuição de água”, Controle e fiscalização de fraudes” e o “Controle de vazamentos na rede de distribuição”.

O PROMETHEE foi o mais adequado para o problema estudado, pois ele não só seleciona uma única alternativa potencial, ou apenas ordena um conjunto de alternativas da melhor para a pior, mas seleciona um conjunto de ações respeitando as restrições impostas no problema. Ele também é considerado de fácil entendimento, onde os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm significado físico ou econômico de rápida assimilação por parte do decisor.

5.6 Análise de Sensibilidade

Uma análise de sensibilidade deve ser realizada para verificar a robustez do resultado quanto às incertezas inseridas na atribuição dos pesos, especialmente no que diz respeito à diferença de importância entre os critérios. Esta análise serve para observar se há variações significativas nas posições das alternativas e no conjunto de alternativas obtido, quando os pesos atribuídos aos critérios são variados em certo nível de tolerância.

A análise foi realizada alterando o peso dos critérios “custo de investimento” e “tempo de resposta” referentes às restrições impostas no modelo. Foi respeitada a ordem de importância entre os critérios estabelecida pelo decisor.

Em um dado momento foi dado um aumento de 10% no peso dos critérios “custo de investimento” e “tempo de resposta”, assim obteve-se os seguintes valores, expressos na tabela 5.9.

Tabela 5.9- Valores dos pesos dos critério acrescidos de 10%

<i>Ordenação</i>	<i>Crítérios</i>	<i>Pesos Normalizados</i>
1º	C6	0,26
2º	C1	0,23
3º	C2	0,21
4º	C5	0,15
5º	C3	0,10
6º	C4	0,05

Fonte: Autora (2008).

Após o cálculo dos índices de preferência, se obtém os fluxos de entrada, de saída e os fluxos líquidos das alternativas, e com isso é possível chegar ao *ranking* das alternativas obtidas com a aplicação do PROMETHEE II.

Tabela 5.10- fluxos após análise de sensibilidade

Alternativas	Positivo	Negativo	Líquido
A1	4,98	1,15	3,83
A2	0,04	5,20	-5,16
A3	2,25	3,32	-1,07
A4	4,29	2,05	2,24
A5	3,07	2,10	0,97
A6	1,77	2,66	-0,90
A7	1,95	2,27	-0,32
A8	2,24	1,82	0,42

Fonte: Autora (2008).

Aplicando a segunda fase do método PROMETHEE V, que é a aplicação da programação linear inteira, obteve-se o seguinte resultado.

Tabela 5.11- Alternativas selecionadas após a aplicação da programação inteira para a análise de sensibilidade.

Variáveis de decisão	Valor final
x_{A1}	0,00
x_{A2}	1,00
x_{A3}	0,00
x_{A4}	0,00
x_{A5}	0,00
x_{A6}	1,00
x_{A7}	1,00
x_{A8}	1,00

Fonte: Autora (2008).

O subconjunto de alternativas potenciais não se alterou, sendo o mesmo indicado na Tabela 5.8. Dessa forma, pode-se concluir devido às pequenas alterações percebidas diante as variações realizadas, para este caso específico, o modelo aplicado é robusto.

No entanto, é importante aqui destacar alguns inconvenientes no uso do método PROMETHEE. Keyser & Peeters (1996) frisaram em seu trabalho que a exclusão e a adição de novas alternativas podem afetar completamente a pré-ordem parcial estabelecida no

PROMETHEE I e a pré-ordem completa estabelecida no PROMETHEE II, comprometendo o resultado final da decisão. Adicionar ou retirar uma ação parece razoável quando “a melhor alternativa” é retirada ou quando “a melhor alternativa” é acrescentada, mas não adequado quando a adição ou remoção de uma alternativa que é dominada por todas as outras ou quando a alternativa é igual à outra (KEYSE & PEETERS, 1996).

Outro inconveniente do uso do PROMETHEE II é que ele não é apropriado para problemas não-convexos. Estes problemas são caracterizados por apresentarem uma fronteira de eficiência ou Ótimo de Pareto (onde a alternativa escolhida atinge um valor amplo em todos os critérios e não possui um valor dominado por outra alternativa em níveis inaceitáveis em qualquer dos demais critérios que estão sendo utilizados no processo de avaliação das alternativas) que delimita uma porção viável da região viável (PARREIRAS, 2007; GOMES *et al.*, 2006).

Se fosse alterado o valor dos pesos de outros critérios, diferentes dos mencionados para essa análise de sensibilidade, ou se o valor do acréscimo no valor dos pesos dos critérios utilizados para a realização da análise de sensibilidade fosse maior que 10%, seria possível constatar as falhas mencionadas anteriormente para a aplicação do PROMETHEE II que poderiam ter alterado o resultado final e a recomendação dada ao decisor. Portanto é importante ter cuidado na aplicação deste método, principalmente na fase de ponderação dos critérios, o decisor deve estar ciente da importância relativa dada a cada critério e que qualquer alteração destes valores podem interferir no resultado final.

Esta análise de sensibilidade possibilita explorar os resultados e esclarecer possíveis vieses, o que é bastante útil para que o decisor tenha melhor compreensão do embasamento de suas recomendações.

6 CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

A busca por novas alternativas de redução do consumo e uso mais eficiente da água, principalmente nas áreas urbanas é uma tarefa constante da população mundial, órgãos públicos, e entidades voltadas à preservação do meio ambiente.

O presente trabalho teve como objetivo propor um modelo baseado na aplicação de ferramentas de apoio a decisão, utilizando métodos da família da Escola Francesa, que trabalha com a abordagem de sobreclassificação (*outranking*), em especial o método PROMETHEE V, que por meio da ordenação valorada das alternativas e avaliação das restrições impostas, seleciona um subconjunto de alternativas de conservação e uso eficiente da água no meio urbano.

Através de pesquisa bibliográfica foram levantadas algumas alternativas baseadas em experiências realizadas em outros países e em outros estados do Brasil. Foram também levantados os critérios para a avaliação dessas alternativas, que foram utilizados para a aplicação do modelo proposto.

O modelo apresentado tomou como base para a sua aplicação, o Distrito-30 situado na Região metropolitana do Recife, que enfrentava sérios problemas com a escassez de água. Hoje a COMPESA realiza algumas atividades no combate ao desperdício e controle de perdas nesta região, mas algumas outras ações podem ser realizadas para promover o uso eficiente da água, as quais foram apresentadas neste trabalho.

O uso de um modelo como auxílio a decisões na área de recursos hídricos permite analisar as diversas ações segundo diferentes aspectos envolvidos no problema. Dessa forma é possível que as alternativas levantadas sejam avaliadas por diferentes critérios levando em consideração aspectos econômicos, ambientais, operacionais e sociais, além de contar com o sistema de valor do decisor envolvido no problema.

A ponderação dos critérios também foi um fator crucial para o desenvolvimento do modelo, pois a partir deles foi possível verificar o grau de importância que o decisor atribui a cada alternativa e assim avaliar melhor os resultados obtidos

A aplicação numérica realizada utilizando dados realísticos obtidos junto a órgãos responsáveis, como a COMPESA, por exemplo, e por estimativas baseadas em experiências realizadas em outras regiões, foi essencial para confirmar a necessidade e importância do

modelo. A coerência dos resultados, a facilidade de aplicação do método e o entendimento de seu funcionamento por parte do decisor, são fatores que confirmam as afirmativas encontradas na literatura a respeito da eficiência e eficácia do PROMETHEE quando aplicado a problemas referentes ao gerenciamento de recursos naturais.

6.2 Proposta para trabalhos futuros

Estudos que são direcionados a avaliação e priorização de alternativas de conservação dos recursos hídricos tenderão a crescer cada vez mais.

Tendo em vista o estudo realizado neste trabalho sugere-se a aplicação de métodos mais formais de estruturação de problemas, como o SSM (*Soft System Methodology*); SODA (*Strategic Options Development and Analysis*); SCA (*Strategic Choice Analysis*); etc. Já que decisões na área de recursos hídricos são muitas vezes conflitantes e complexas.

Utilizando a abordagem *hard* para estruturação de problemas, pode ser realizado um estudo mais apropriado para o levantamento das alternativas levando em consideração os problemas reais da região onde serão implantadas as alternativas, através de entrevista com líderes comunitários, profissionais da concessionária de água que conhece os problemas técnicos da região e membros de comitês de conservação do meio ambiente.

Uma sugestão importante seria o uso de métodos formais para o levantamento do peso dos critérios, alguns autores como Macharis *et al.* (2004) já trabalham com a aplicação do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para a ponderação de pesos no PROMETHEE. Seria interessante também a busca por novas metodologias mais formais e uso de outros métodos de apoio a decisão que possam contribuir para a avaliação desses pesos.

Outra proposta seria o uso de metodologias de Decisão em Grupo, pois na maioria dos problemas envolvendo recursos naturais envolvem vários *stakeholders*, como idéias, objetivos e interesses conflitantes entre si. Entre essas metodologias pode-se destacar o método desenvolvido por Macharis *et al.*(1998) o PROMETHEE GDSS (*Group Decision Support System*) que é um sistema de apoio a decisão em grupo que utiliza abordagem de agregação de saída e é baseado no método multicritério PROMETHEE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-TALEB & MARESCHAL, B. Water resources planning in the Middle East: application of the PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operational Research*, v.81, p. 500-511, 1995.

ALMEIDA, A. T. & COSTA, A. P. C. S. Modelo de decisão multicritério para a priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE. *Gestão e Produção*, v. 9, p. 201-214, 2002

ALMEIDA, M. C.; RIBEIRO, P.; VIEIRA, R, Uso Eficiente da Água no Sector Urbano. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, Lisboa. Portugal, 2006.

BRASIL. COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento). *Programa de Redução de Perdas no Sistema de Distribuição*, 48p Recife, 2007.

BRASIL. ANA, FIESP, SindusCon-SP & COMASP (Agência Nacional das Águas, Federação das Industrias de São Paulo, Sindicato da Industria da construção civil de São Paulo & Comitê do Meio Ambiente). *Conservação e Reuso de águas em Edificações*. São Paulo, 2005.

BRASIL. MMA & SRH (Ministério do Meio Ambiente & Secretaria de Recursos Hidricos). *Água: Manual de Uso*, Brasília, 2006.

BRASIL. MMA & ANA (Ministério do Meio Ambiente & Agência Nacional das Águas). *Geo Brasil: recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil/ Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional das Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente*, 264p. Brasília, 2007.

BELTON, V. & STEWART, T. J. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Kluwer Academic Publishers, 2002.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N. & JULIANO, N.; EIGER, S. *Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. 2ª Ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2005.

BRANS, J. P. & MARESCHAL, B. *How to Decide with PROMETHEE*. ULB and VUB Brussels Free Universities, <http://smg.ulb.ac.be>, s.d.

BRANS, J. P. & MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, v.24, p. 228-238, 1986.

BRANS, J. P. & VINCKE, P. A preference ranking organization method (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making). *Management Science*, v.31, p. 647-656, 1985.

BOSOI, Z. M. R.; TORRES, S. D. A. A Política de Recursos Hídricos no Brasil. Laboratório de Hidrologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CAVALCANTE, C.A.V, ALMEIDA, A. T. Modelo Multicritério de Apoio a decisão para planejamento de manutenção preventiva utilizando o PROMETHEE II em situações de Incerteza. *Pesquisa Operacional*, v.25, n.2, p.279-296, 2005.

CECCHIN, C. Reuso de água : Um modelo proposto para a redução de consumo de água industrial através da metodologia do gerenciamento de processos. 2003, 127p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Consultoria, Planejamento e Implantação de programa para uso racional da água. www.h20.com.br, acessado em 04 de fevereiro de 2008.

FAGANELLO, C. R .F.; FOLEGATTI, M. V.; GONÇALVES, R. A. B.; MEIRA, A. M. Fundamentos de Educação Ambiental e Efetivação do princípio da participação na Microbacia do Ribeirão dos Marins – Piracicaba/SP, como ferramentas orientadoras do uso racional da água. *Revista eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, Volume 16, 2006.

FIORI, S. Avaliação Qualitativa e Quantitativa do Potencial de Reuso de Água Cinza em edifícios residenciais multifamiliares. 2005, 135p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade de Passo Fundo, RS.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. & ALMEIDA, A. T. *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. 2ª Ed. Rio de Janeiro, Editora Atlas, 2006.

HAFNER, A. V. Conservação e Reuso de Água em Edificações – Experiências Nacionais e Internacionais. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

HAJKOWICZ, S. & HIGGINS, A. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European Journal of Operational Research*, v.184, p. 255-265, 2008.

HARALAMBOPOULOS, D. A. & POLATIDIS, H. Renewable energy projects: structuring a multicriteria group decision-making framework. *Renewable Energy*, v.28, p. 961-973, 2003.

JUNIOR, R. O.S , RIZZO, H. G. Manual de Consumo Sustentável - Água. Ministério do Meio Ambiente, Secretária de Recursos Hídricos. Brasília, 2002.

KEYSER, W & PEETERS, P. A note on the use of Promethee multicriteria methods, *European Journal of Operational Research*, v. 89, p. 457-461, 1996.

LIGIÉRIO, S. D.; BATALHA, A.A.; AZEVEDO P.S.; MARTINS, J. M. Reuso de água, uma solução pró-ativa – Um estudo de cãs da empresa Schering-Plough. S.A. In: Simpósio de Engenharia de Produção – SIMPEP, 2002.

LOPES, L. H. Antunes, Modelo de gestão urbana baseado na capacidade de atendimento do sistema de abastecimento de água. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2003.

LIU, D. & STEWART, T. J. Object-oriented decision support system modeling for multicriteria decision making in natural resource management. *Computers & Operational Research*, v.31, p. 985-999, 2004.

MACHADO, P. A. L. Recursos Hídricos: direito brasileiro e internacional. São Paulo: Malheiros Editores, 2002.

MACHARIS, C., SPRINGAEL, J., BRUCKER, K. D., VERBEKE, A. PROMETHEE and AHP: The desing of operation synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP, *European Journal of Operational Research*, v. 153(2), p. 307-317, 2004.

MACHARIS, J., BRANS, P., MARESCHAL, B. The GDSS PROMETHEE procedure, *Journal of Decision Systems*, v. 7, p. 283-307, 1998.

MIERZMA, J.C & HESPANHOL, I. Programa para gerenciamento de águas e efluentes nas industrias, visando ao uso racional e à reutilização. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v, 4, p 11-15, 1999.

MIERZMA, J.C; HESPANHOL, I; CODAS, B. V. B; SILVA, J. O. P; MENDES, R. L. Avaliação econômica dos sistemas de reuso de água em empreendimentos imobiliários. *s. ed.*

MORAIS, D. C. & ALMEIDA, A. T. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. *Pesquisa Operacional*, v.26, p. 567-584, 2006.

NEVES, M. V, BERTOLO, E, & ROSSA, S. Aproveitamento e reutilização para usos doméstico. *Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente*, Porto, Portugal, 2006

NEVES, Mário Valente, NEVES, Ana Augusta. *Estratégias para o uso mais Eficiente da Água em Portugal*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Ensino Superior de Engenharia do Porto.

PARREIRAS, R. O. & VASCONCELOS, J. A. A multiplicative version of PROMETHEE II applied to multiobjective optimization problems, *European Journal of Operational Research*, v. 183, p. 729-740, 2007.

PORTUGAL, LNEC & ISA (Laboratório Nacional de Engenharia Civil & Instituto Nacional de Agronomia, *Programa Nacional para uso eficiente da água*. Lisboa, 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELEM DO PARÁ. *Uso racional da Água*. Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém, www.belem.pa.gov.br, acessado em 05 de fevereiro de 2008.

REBOÇAS, Aldo. *Uso Inteligente da Água*. São Paulo: Escrituras Editora, 2004.

RIBERIO, J.T.; KOWATA, E. A. *Tratamento de água por filtração Direta ascendente para fins de reuso*. s.d.

ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.

ROY, B. *Methodologie Multicrièrè d'aide à la Décision*. Paris, Editora Econômica, 1985.

SETTI, A.A; LIMA, J. E. F. W; CHAVES, A. G. M; PEREIRA, I. C. *Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 2º ed, Brasília, 2001.

SIMONOVIC & VERMA. A new methodology for water resources multicriteria decision making under uncertainty. *Physics an Chemistry oh the Earth*, v.33, p. 322-329, 2008.

VIMIEIRO, G. V.; PÁDUA, V. L. Emprego de Equipamentos especiais na economia de água em residências de famílias de baixa renda. In: CONGRESSO BARILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais..., 2004. I-128.

VINCKE, P. *Multicriteria decision aid*. Bruxelles, Jonh Wiley & Sons, 1992.

TATE, D.T. Water Demand Management in Canadá: A State-of-the-Art Review. *Social Science Series*. Nº 21. Ottawa, Canadá. 1990.

YANG, H. & ZEHNDER, A. China's regional water scarcity na implications for grain supplay and trade. *Environment and Planning*, v. 33, p.79-95, 2001

ZELNY, Milan. Six concepts of optimality. *TIMS/Orsa Joint Meeeting*, Boston, Apr. 1994.

APÊNDICE 1

As etapas de cálculo realizadas para a aplicação do PROMETHEE II foram feitas em planilha eletrônica *Excel Microsoft*. Todos os resultados encontram-se nas tabelas a seguir.

Tabela A. 1 – Etapas de cálculo com relação ao critério C1

Critério (C1): “investimento inicial”								
Peso do critério (pi):		0,23						
P(a)-P(b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	27964000,00	27790000,00	13000000,00	1000000,00	27945000,00	27974000,00	27975000,00
A2	-27964000,00	0,00	-174000,00	-14964000,00	-26964000,00	-19000,00	10000,00	11000,00
A3	-27790000,00	174000,00	0,00	-14790000,00	-26790000,00	155000,00	184000,00	185000,00
A4	-13000000,00	14964000,00	14790000,00	0,00	-12000000,00	14945000,00	14974000,00	14975000,00
A5	-1000000,00	26964000,00	26790000,00	12000000,00	0,00	26945000,00	26974000,00	26975000,00
A6	-27945000,00	19000,00	-155000,00	-14945000,00	-26945000,00	0,00	29000,00	30000,00
A7	-27974000,00	-10000,00	-184000,00	-14974000,00	-26974000,00	-29000,00	0,00	1000,00
A8	-27975000,00	-11000,00	-185000,00	-14975000,00	-26975000,00	-30000,00	-1000,00	0,00
Cálculo do F(a,b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07
A3	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00
A4	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00
A5	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
A6	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,20
A7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
A8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pi(a,b) = 1/P \sum p_j F_j(a,b)$								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
A3	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,23	0,23	0,23
A4	0,00	0,23	0,23	0,00	0,00	0,23	0,23	0,23
A5	0,00	0,23	0,23	0,23	0,00	0,23	0,23	0,23
A6	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05
A7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autora (2008)

Tabela A. 2 - Etapas de cálculo com relação ao critério C2

Critério (C2): "Custo de manutenção da ação"								
Peso do critério (pi):		0,21						
P(a)-P(b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	17000000,00	17000000,00	16000000,00	16975000,00	16988500,00	16976000,00	16976000,00
A2	-17000000,00	0,00	0,00	-1000000,00	-25000,00	-11500,00	-24000,00	-24000,00
A3	-17000000,00	0,00	0,00	-1000000,00	-25000,00	-11500,00	-24000,00	-24000,00
A4	-16000000,00	1000000,00	1000000,00	0,00	975000,00	988500,00	976000,00	976000,00
A5	-16975000,00	25000,00	25000,00	-975000,00	0,00	13500,00	1000,00	1000,00
A6	-16988500,00	11500,00	11500,00	-988500,00	-13500,00	0,00	-12500,00	-12500,00
A7	-16976000,00	24000,00	24000,00	-976000,00	-1000,00	12500,00	0,00	0,00
A8	-16976000,00	24000,00	24000,00	-976000,00	-1000,00	12500,00	0,00	0,00
Cálculo do F(a,b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A4	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A5	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,27	0,02	0,02
A6	0,00	0,23	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A7	0,00	0,48	0,48	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00
A8	0,00	0,48	0,48	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00
$\pi(a,b) = 1/P \sum p_j F_j(a,b)$								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A4	0,00	0,21	0,21	0,00	0,21	0,21	0,21	0,21
A5	0,00	0,11	0,11	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
A6	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A7	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
A8	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00

Fonte: Autora (2008)

Tabela A. 3- Etapas de cálculo com relação ao critério C3

Critério (C3): “Tempo de resposta da ação implantada”								
Peso do critério (pi):		0,10						
P(a)-P(b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	9,00	3,00	-9,00	14,00	13,00	14,00	14,00
A2	-9,00	0,00	-6,00	-18,00	5,00	4,00	5,00	5,00
A3	-3,00	6,00	0,00	-12,00	11,00	10,00	11,00	11,00
A4	9,00	18,00	12,00	0,00	23,00	22,00	23,00	23,00
A5	-14,00	-5,00	-11,00	-23,00	0,00	-1,00	0,00	0,00
A6	-13,00	-4,00	-10,00	-22,00	1,00	0,00	1,00	1,00
A7	-14,00	-5,00	-11,00	-23,00	0,00	-1,00	0,00	0,00
A8	-14,00	-5,00	-11,00	-23,00	0,00	-1,00	0,00	0,00
Cálculo do F(a,b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A4	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pi(a,b) = 1/P \sum p_j F_j(a,b)$								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10
A4	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10
A5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autora (2008)

Tabela A. 4 - Etapas de cálculo com relação ao critério C4

Critério (C4): "Impacto da alternativa sobre a população envolvida"								
Peso do critério (pi):		0,05						
P(a)-P(b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	1,00	0,25	1,00	0,25	0,00	0,00	0,00
A2	-1,00	0,00	-0,75	0,00	-0,75	-1,00	-1,00	-1,00
A3	-0,25	0,75	0,00	0,75	0,00	-0,25	-0,25	-0,25
A4	-1,00	0,00	-0,75	0,00	-0,75	-1,00	-1,00	-1,00
A5	-0,25	0,75	0,00	0,75	0,00	-0,25	-0,25	-0,25
A6	0,00	1,00	0,25	1,00	0,25	0,00	0,00	0,00
A7	0,00	1,00	0,25	1,00	0,25	0,00	0,00	0,00
A8	0,00	1,00	0,25	1,00	0,25	0,00	0,00	0,00
Cálculo do F(a,b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A5	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A6	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
A7	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
A8	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
$\pi(a,b) = 1/P \sum p_j F_j(a,b)$								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
A4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A5	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
A6	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
A7	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
A8	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autora (2008)

Tabela A. 5 - Etapas de cálculo com relação ao critério C5

Critério (C5): “Eficiência da ação”								
Peso do critério (π):		0,15						
P(a)-P(b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	1,00	0,25	0,00	0,75	0,50	0,25	0,00
A2	-1,00	0,00	-0,75	-1,00	-0,25	-0,50	-0,75	-1,00
A3	-0,25	0,75	0,00	-0,25	0,50	0,25	0,00	-0,25
A4	0,00	1,00	0,25	0,00	0,75	0,50	0,25	0,00
A5	-0,75	0,25	-0,50	-0,75	0,00	-0,25	-0,50	-0,75
A6	-0,50	0,50	-0,25	-0,50	0,25	0,00	-0,25	-0,50
A7	-0,25	0,75	0,00	-0,25	0,50	0,25	0,00	-0,25
A8	0,00	1,00	0,25	0,00	0,75	0,50	0,25	0,00
Cálculo do F(a,b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
A4	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00
A5	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A6	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
A7	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
A8	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00
$\pi(a,b) = 1/P \sum p_j F_j(a,b)$								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	0,15	0,15	0,00	0,15	0,15	0,15	0,00
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,00	0,15	0,00	0,00	0,15	0,15	0,00	0,00
A4	0,00	0,15	0,15	0,00	0,15	0,15	0,15	0,00
A5	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A6	0,00	0,15	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00
A7	0,00	0,15	0,00	0,00	0,15	0,15	0,00	0,00
A8	0,00	0,15	0,15	0,00	0,15	0,15	0,15	0,00

Fonte: Autora (2008)

Tabela A. 6 - Etapas de cálculo com relação ao critério C6

Critério (C6): "Redução de Consumo"								
Peso do critério (π):		0,26						
P(a)-P(b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	0,25	0,00	0,00	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25
A2	-0,25	0,00	-0,25	-0,25	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50
A3	0,00	0,25	0,00	0,00	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25
A4	0,00	0,25	0,00	0,00	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25
A5	0,25	0,50	0,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
A6	0,25	0,50	0,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
A7	0,25	0,50	0,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
A8	0,25	0,50	0,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálculo do F(a,b)								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A4	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A5	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A6	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A7	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A8	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pi(a,b) = 1/P \sum p_j F_j(a,b)$								
Alternativas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A4	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A5	0,26	0,26	0,26	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
A6	0,26	0,26	0,26	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
A7	0,26	0,26	0,26	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
A8	0,26	0,26	0,26	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autora (2008)