

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

**MODELAGEM MULTICRITÉRIO EM GRUPO PARA
PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DO CONTROLE DE PERDAS NO
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

TESE SUBMETIDA À UFPE
PARA A OBTENÇÃO DE GRAU DE DOUTOR
POR

DANIELLE COSTA MORAIS

Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida, PhD

Recife, outubro de 2006

M827m

Morais, Danielle Costa.

Modelagem multicritério em grupo para planejamento estratégico do controle de perdas no abastecimento de água. – Recife: O Autor, 2006.

xi, 148 folhas. : il. ; fig., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia de Produção, 2006.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia de Produção. 2. Sistema de abastecimento d'água – Controle de perdas. 3. Controle de perdas – Sistema multicritério. 4. Planejamento estratégico – Abastecimento d'água - Controle. I. Título.

658.5 CDD (22.ed.)

UFPE
BCTG/2006-119



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

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE

DANIELLE COSTA MORAIS

**“Modelagem Multicritério em Grupo para Planejamento
Estratégico do Controle de Perdas no Abastecimento de Água”.**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a candidata *DANIELLE COSTA MORAIS* **APROVADA COM DISTINÇÃO**.

Recife, 16 de outubro de 2006.

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

Prof. FERNANDO MENEZES CAMPELLO DE SOUZA, PhD (UFPE)

Prof. DENISE DUMKE DE MEDEIROS, Docteur (UFPE)

Prof. JOSÉ ALMIR CIRILO, Doutor (UFPE)

Prof. NEI YOSHIHIRO SOMA, PhD (ITA-SP)

*Aos meus pais, **Horácio e Verilda Moraes** e aos meus irmãos **Anna Karina e Horácio Júnior**, que sempre me incentivaram e apoiaram nos momentos de dificuldade, mostrando-me que as grandes conquistas são alcançadas com muito empenho.*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus por ter-me dado força para que eu superasse todas as dificuldades surgidas ao longo dessa jornada.

Ao Prof. *Adiel Teixeira de Almeida*, orientador e amigo, pela importante contribuição através de seu amplo conhecimento e competência. Agradeço por sua confiança na minha capacidade de realização deste trabalho, além da inestimável orientação profissional que me ajudou a transpor os momentos de dúvidas, indecisões e desânimo.

Aos professores Fernando Campello e Denise Medeiros, pelas contribuições dadas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais e irmãos, que ao longo da minha vida sempre me ensinaram, incentivaram e apoiaram em todas as etapas percorridas, tenham sido elas fáceis ou difíceis, com grande dedicação e amor.

Meus agradecimentos ao PPGEP/UFPE, mais precisamente à coordenação do curso e a secretaria do doutorado, em especial à secretária *Juliane*, com a qual pude sempre contar com o auxílio na resolução de questões administrativas e burocráticas.

Aos amigos do GPSID pelas horas de estudo e momentos de descontração e alegria.

A CAPES pela bolsa de doutorado sanduíche concedida.

Ao CNPq pela bolsa de doutorado concedida.

A todas as pessoas que de alguma forma incentivaram e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, meu muito obrigada.

“[...] Era dividida em metades diferentes uma da outra. Chegou-se a discutir qual a metade mais bela. Nenhuma das duas era totalmente bela. E carecia optar. Cada um optou conforme seu capricho, sua ilusão, sua miopia”

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

O planejamento estratégico para o controle de perdas em sistemas de abastecimento de água está envolvendo cada vez mais a participação de várias organizações na tomada de decisão sobre as ações a serem desenvolvidas, tendo em vista a crescente preocupação com as questões relacionadas à água. Essas organizações têm diferentes objetivos, responsabilidade e interesses, fazendo-se necessário um procedimento estruturado para a resolução dos conflitos. Nesse contexto, este trabalho concentra-se na tomada de decisão em grupo para o controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. É proposto um modelo multicritério que faz uso da abordagem de estruturação de problemas, para facilitar o compartilhamento de informações a partir do desenvolvimento participativo, como forma de geração de idéias alternativas de solução e melhorar o processo de aprendizagem entre todos os membros envolvidos. Esse modelo é capaz de apoiar o processo de decisão em todas as fases: definição e estruturação do problema, identificação de possíveis alternativas de solução, análise das prioridades individuais e decisão final do grupo. Essa decisão final é realizada por meio do método proposto neste trabalho (Análise das Prioridades Individuais para Escolha em Grupo), que é baseado na problemática de escolha e leva em consideração a interpretação individual do problema pelos membros do grupo, de forma a permitir uma maior quantidade de decisores satisfeitos com o resultado obtido.

Palavras-chave: multicritério, decisão em grupo, perdas de água em sistemas de abastecimento.

ABSTRACT

The strategic planning to control losses in water supply systems involves the participation of several organizations in the decision making about the actions to be developed, specially after the increasing awareness with issues related to water. These organizations have different objectives, responsibilities and interests, becoming necessary a structured procedure for resolution of the conflicts. In this context, this work deals with the decision making in group to control losses in water supply systems. It is proposed a multicriteria model that uses the problems structuring approach, to facilitate and share information starting from the participative development, as way of generation of alternative ideas of solution and to improve the learning process among all the involved members. This model is capable to support the decision process in all phases: definition and problem structuring, identification of alternatives possible solution, analysis of the individual priorities and final group decision. This final decision is accomplished by the method proposed in this work (individual priorities analysis for a group choice), that is based on the choice problematic and it takes in account the individual interpretation of the problem of the group members, allowing a larger amount of satisfied decision makers with the found result.

Keywords: multicriteria, group decision, water losses in network distribution.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Relevância do Estudo	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia empregada	3
1.4 Estrutura da Tese	4
2. BASE CONCEITUAL.....	6
2.1 Perdas em sistemas de abastecimento de água.....	9
2.1.1 Programa de ação em nível federal.....	11
2.1.2 Programa de ação em países desenvolvidos (exemplo do Reino Unido).....	12
2.1.3 Tipos de perdas.....	13
2.1.4 Relação demandas x perdas em sistemas de abastecimento de água	20
2.1.5 Nível econômico de controle de vazamentos.....	23
2.1.6 Ações para o gerenciamento e controle	24
2.2 Estruturação de problemas.....	27
2.2.1 SSM – <i>Soft Systems Methodology</i>	28
2.2.2 SCA – <i>Strategic Choice Approach</i>	29
2.2.3 SODA – <i>Strategic Options Development and Analysis</i>	31
2.3 Apoio a decisão multicritério	31
2.3.1 Problemáticas de decisão.....	32
2.3.2 Modelagem de preferências.....	32
2.3.3 Conceitos básicos de apoio multicritério a decisão	35
2.3.4 Métodos multicritério	37
2.3.5 Informações intercritérios (ponderação dos critérios)	42
2.4 Comentários finais sobre este capítulo.....	43
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	44
3.1 Perdas em sistemas de abastecimento de água.....	45
3.1.1 Métodos de avaliação e controle das perdas	45
3.1.2 Métodos de otimização de redes para a redução de perdas.....	48
3.1.3 Ferramentas computacionais	52
3.1.4 Alguns modelos multicritério para gestão de recursos hídricos.....	54
3.2 Apoio a decisão em grupo (abordagem <i>soft</i>)	55
3.2.1 Métodos qualitativos de apoio a decisão (<i>Brainstorm</i> , Método <i>Delphi</i> , Mapas Cognitivos).....	57
3.2.2 Modelos de decisão em grupo baseados em métodos de estruturação de problemas	60
3.3 Modelos multicritério para decisão em grupo (abordagem <i>hard</i>).....	62
3.3.1 Modelos encontrados de agregação dos julgamentos individuais.....	65
3.3.2 Modelos encontrados de agregação dos resultados individuais	68
3.3.3 Importância dos decisores.....	80
3.4 A fronteira entre a abordagem <i>soft</i> e <i>hard</i> de apoio a decisão.....	81
3.5 Comentários finais sobre este capítulo.....	83

4. PROPOSTA DE ANÁLISE DAS PRIORIDADES INDIVIDUAIS PARA ESCOLHA EM GRUPO	86
4.1 Formalização da proposta.....	88
4.1.1 Exemplo numérico de aplicação da proposta.....	94
4.2 Extensão da proposta para incorporar a importância relativa entre os decisores	100
4.2.1 Exemplo numérico de aplicação da proposta incorporando o peso dos decisores.....	101
4.3 Comentários finais sobre este capítulo.....	103
5. MODELO DE DECISÃO EM GRUPO PARA REDUÇÃO DE PERDAS.....	105
5.1 Descrição do modelo	106
5.1.1 FASE 1: Identificação dos problemas do sistema.....	110
5.1.2 FASE 2: Discussão	112
5.1.3 FASE 3: Clarificação.....	116
5.1.4 FASE 4: Decisão	118
5.2 Aplicação numérica	119
5.2.1 FASE 1: Identificação dos problemas do sistema.....	119
5.2.2 FASE 2: Discussão	120
5.2.3 FASE 3: Clarificação.....	127
5.2.4 FASE 4: Decisão	130
5.3 Comentários finais sobre este capítulo.....	132
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	134
6.1 Conclusões	134
6.2 Sugestões para futuros trabalhos	136
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Região admissível do problema	7
Figura 2.2 – Percentual Médio de Perdas nos sistemas de abastecimento de água	14
Figura 2.3 – Índice de perdas por região do Brasil.....	16
Figura 2.4 – Diagrama diário das demandas domésticas e perdas relevantes.....	21
Figura 2.5 – Relação entre vazamentos e pressão	22
Figura 2.6 – Indicação do ponto ótimo de nível de vazamento	24
Figura 2.7 – Representação dos sete estágios do SSM.....	29
Figura 2.8 – A dinâmica da escolha estratégica	30
Figura 3.1 – Estratégia de controle de perdas de água.....	48
Figura 3.2 – Formas de agregação das perspectivas individuais	63
Figura 3.3 – Evolução da avaliação individual para a global	77
Figura 3.4 – Esquema de relacionamento entre as etapas do processo decisório	83
Figura 4.1 – Fluxograma do método proposto.....	89
Figura 4.2 – Ilustração da performance da ordenação da alternativa E com relação a J para todos os decisores	100
Figura 5.1 – Esquema geral do processo de decisão.....	107
Figura 5.2 – Esquema detalhado por fases do modelo proposto.....	108
Figura 5.3 – Esquema do modelo proposto de decisão em grupo	109
Figura 5.4 – Consolidação das informações	112
Figura 5.5 – Representação do formato básico do SSM.....	114
Figura 5.6 – Representação de onde ocorrem as perdas nas redes de distribuição	119
Figura 5.7 – Estrutura do modelo conceitual.....	120
Figura 5.8 – Pré-ordem completa obtida do decisor 1	128
Figura 5.9 – Pré-ordem completa obtida do decisor 2	128
Figura 5.10 – Pré-ordem completa obtida do decisor 3	129
Figura 5.11 – Pré-ordem completa obtida do decisor 4.....	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Situação das perdas em algumas cidades do mundo.....	15
Tabela 2.2 – Padronização do balanço da água.....	16
Tabela 2.3 – As quatro situações básicas de preferências.....	33
Tabela 2.4 – Relações consolidadas para a modelagem de preferências.....	33
Tabela 2.5 - Estruturas de preferências básicas sem incomparabilidade.....	34
Tabela 2.6 - Estruturas básicas de preferências com incomparabilidade.....	34
Tabela 2.7 – Propriedades dos critérios.....	36
Tabela 2.8 – Formas das funções de preferência.....	40
Tabela 3.1 – Exemplo da agregação de preferências baseado na Regra da Maioria.....	69
Tabela 3.2 – Resultado da ordenação final pela Contagem de Borda.....	71
Tabela 3.3 – Exemplo de Agregação Aditiva.....	76
Tabela 3.4 – Exemplo de Agregação Aditiva com modificação na performance.....	76
Tabela 4.1 – Exemplo da sumarização das alternativas (Quartil Superior).....	90
Tabela 4.2 – Exemplo da sumarização das alternativas (Quartil Inferior).....	91
Tabela 4.3 – Avaliação das alternativas pelos decisores.....	94
Tabela 4.4 – Divisão das classes (Quartis Superior e Inferior).....	95
Tabela 4.5 – Votos (quantidade de decisores) a favor das melhores alternativas (Q_i^S) – Quartil Superior.....	95
Tabela 4.6 – Votos (quantidade de decisores) contra as alternativas (Q_i^I) – Quartil Inferior.....	96
Tabela 4.7 – Contagem posicional superior: força das alternativas (F_i).....	96
Tabela 4.8 – Contagem posicional inferior: fraqueza das alternativas (f_i).....	97
Tabela 4.9 – Resultado pela Regra da Maioria.....	98
Tabela 4.10 – Resultado pela Contagem de Borda.....	98
Tabela 4.11 – Resultado baseado nas distâncias ordinais, conforme equação (3.14).....	98
Tabela 4.12 – Resumo dos resultados da comparação.....	99
Tabela 4.13 – Quantidade de decisores (considerando-se seus respectivos pesos) a favor das melhores alternativas (Q_i^S) – Quartil Superior.....	101
Tabela 4.14 – Quantidade de decisores (considerando-se seus respectivos pesos) contra as alternativas (Q_i^I) – Quartil Inferior.....	102
Tabela 4.15 – Contagem posicional superior: força das alternativas (F_i).....	102
Tabela 4.16 – Contagem posicional inferior: fraqueza das alternativas (f_i).....	103
Tabela 5.1 – Escala para julgamento da importância dos critérios.....	127
Tabela 5.2 – Matriz de avaliação das alternativas em relação dos critérios.....	127
Tabela 5.3 - Pesos, funções de preferência e parâmetros de cada critério, por decisor.....	128
Tabela 5.4 – Resumo dos resultados das prioridades individuais.....	129
Tabela 5.5 – Peso dos decisores.....	130
Tabela 5.6 – Quantidade de decisores (considerando-se os respectivos pesos) a favor das melhores alternativas (Q_i^S) – Quartil Superior.....	130
Tabela 5.7 – Quantidade de decisores (considerando-se os respectivos pesos) contra as alternativas (Q_i^I) – Quartil Inferior.....	131
Tabela 5.8 – Contagem posicional superior: força das alternativas (F_i).....	131

1. INTRODUÇÃO

Muitos sistemas de abastecimento de água vêm apresentando deficiências operacionais, seja pelo elevado incremento da demanda nos últimos anos, seja pela falta de manutenção adequada. Os aumentos nas interrupções no fornecimento de água são comuns, gerando a insatisfação dos usuários. Torna-se, então, necessária a modernização desse setor diante das exigências impostas pelas sociedades urbanas da atualidade, especialmente induzidas pelos processos de crescente democratização e conscientização ecológica.

Com semelhante consciência de conservação, entende-se que a maior eficácia na utilização da água e um melhor gerenciamento dos processos de manutenção constituem grandes desafios para as empresas de saneamento. Em tal contexto, o controle das perdas de água é um dos aspectos mais importantes para a utilização racional e eficiente dos recursos naturais e para o melhor aproveitamento das instalações existentes.

De acordo com Lambert e Hirner (2000), os sistemas de abastecimento de água, por sua complexidade e características próprias, embutem certo grau de perda da produção. O problema é que as empresas de saneamento estão convivendo com índices elevados de perdas e, conseqüentemente, de receita por falta de um gerenciamento adequado.

A primeira conseqüência das perdas no sistema de abastecimento de água é a financeira. A outra é a redução da qualidade do serviço em termos de continuidade no abastecimento ou até problemas de contaminação da rede distribuidora devido a pressões negativas oriundas da intermitência no abastecimento, o qual afeta diretamente o consumidor final.

Porém, para o gerenciamento do sistema, é necessário que os gerentes saibam como integrar os escassos recursos disponíveis com os objetivos estratégicos das concessionárias, elaborando um adequado plano de ações para a identificação, detecção e controle das perdas.

Por outro lado, tomar a decisão de onde agir é complicado, pois existe uma série de dificuldades que levam em consideração critérios diferenciados e que entram constantemente em conflito entre si. Além disso, o que se pode observar é que em problemas dessa dimensão, envolvendo aspectos técnicos, ambientais, econômicos, políticos e principalmente sociais, o decisor normalmente não existe como sendo uma única pessoa que esteja verdadeiramente habilitada para tomar a decisão, ou elaborar sozinho o plano de ação. Frequentemente, várias pessoas (atores ou *stakeholders*) tomam partido nesse processo decisório (ROY, 1996).

Diante dessa situação, percebe-se a necessidade de aprofundar os estudos no contexto desse problema, de modo a formalizar a interação entre os múltiplos decisores e apoiar o processo decisório por meio da metodologia multicritério, orientando para uma escolha

estratégica do controle de perdas de água, buscando atender a uma multiplicidade de aspectos no âmbito da gestão operacional dos sistemas.

1.1 Relevância do Estudo

Alterações no comportamento social vêm exigindo das organizações mudanças na estratégia de manutenção dos sistemas de abastecimento de água, tendo como consequência uma maior participação do setor de operação/manutenção da empresa, órgãos ambientais, técnico-projetistas, órgãos de financiamento e a sociedade em geral.

A grande dificuldade para o controle das perdas de água em sistemas de abastecimento, reside exatamente na questão do gerenciamento integrado. É freqüente encontrar serviços de saneamento que operam sob uma estrutura administrativa com alto grau de setorização, na qual os objetivos e orientações são próprios e acontecem em função da experiência e percepção de cada gerente do setor. A integração, nesses casos, é deficiente e muitas vezes se dá em função de afinidades pessoais.

Como a redução de perdas requer ampla integração, definição clara dos objetivos e grande participação de todos os agentes envolvidos, muitos programas de controle não são bem sucedidos ou têm os resultados positivos anulados em curto espaço de tempo, por não terem um processo de decisão bem estruturado sobre as ações que devem ser implantadas.

Além do mais, de acordo com Asfora e Cirilo (2005) os avanços no processo de gestão dos recursos hídricos de forma geral necessitam, para sua consolidação, que o conhecimento técnico subsidie as decisões colegiadas, com procedimentos adequados às especificidades de cada região, sendo fundamental que os órgãos gestores dos recursos hídricos tenham seu corpo técnico continuamente capacitado e preparado para a tomada de decisões. Contudo, é necessário que as instituições de ensino e pesquisa se agreguem a esse esforço, seja na capacitação em diferentes instâncias, seja no desenvolvimento de técnicas que possam ser incorporadas às rotinas de trabalho dos profissionais que dão suporte a decisão.

Cabe então destacar que o apoio a decisão é a atividade de um analista, baseado em modelos claramente identificados e suficientemente formalizados, que procuram por elementos de resposta face às questões dos decisores (ZAK, 2001). Segundo Roy (1986) o analista é um especialista encarregado da “modelagem de preferência”, que permite incorporar as preferências dos decisores no modelo decisório. Assim, o analista é quem auxilia o decisor na estruturação do problema e na identificação dos fatores do meio ambiente que influenciam sua evolução, configuração e solução.

Nesse contexto, a importância do modelo proposto reside basicamente em apoiar a interação entre os agentes envolvidos no processo de planejamento estratégico do controle de perdas, para uma tomada de decisão estruturada de maneira a integrar as preferências de todos os membros envolvidos e analisar seus pontos de vista, os interesses específicos e as diferentes percepções da situação do problema, de forma a obter uma decisão em grupo.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um modelo de decisão em grupo para apoiar de forma estruturada os indivíduos/organizações envolvidos no processo do planejamento estratégico do controle de perdas em sistemas de abastecimento de água.

Os objetivos específicos são:

- ✓ apresentar uma revisão da literatura, identificando aspectos que precisam ser desenvolvidos no tema;
- ✓ estruturar o processo de decisão em grupo de forma a incorporar abordagens que ajudem a interação entre os membros participantes e criar um ambiente propício à geração de alternativas e à avaliação das perspectivas individuais;
- ✓ analisar as diferentes formas de agregação das preferências individuais dos membros do grupo;
- ✓ desenvolver um modelo multicritério de decisão em grupo para apoiar o problema de planejamento do controle de perdas de água;
- ✓ efetuar a aplicação numérica do modelo proposto com o intuito de ilustrar o seu funcionamento.

1.3 Metodologia empregada

Para o desenvolvimento deste trabalho, será utilizada a abordagem multicritério para conceber uma nova forma de tratar os problemas de decisão em grupo para o planejamento do controle de perdas de água, destacando-se os métodos de Sobreclassificação (ROY, 1996; VINCKE, 1992; GOMES *et al.* 2002). Esse assunto faz parte da área de Pesquisa Operacional, cujo objetivo é auxiliar no desenvolvimento de um processo de decisão, que pode envolver: escolha, classificação ou ordenação.

Primeiramente, para o envolvimento entre os membros do grupo, são consideradas as abordagens para a estruturação de problemas. Para Mingers e Rosenhead (2004), os métodos de estruturação de problemas (ou PSM, sigla do inglês *Problem Structuring Methods*) são particularmente importantes em problemas não-estruturados, caracterizados pela existência de

múltiplos atores, várias perspectivas, conflitos de interesse e incertezas. Eles reconhecem e integram os pontos de vista subjetivos dos participantes e a importância do aprendizado mútuo.

Na fase de estruturação ou definição do problema, são identificados os objetivos, os cursos alternativos de ação e são estabelecidas as limitações do problema em questão. Vários métodos de estruturação têm sido desenvolvidos com o objetivo de apoiar os grupos a entenderem melhor a situação do problema (ROSENHEAD, 2006; FRANCO *et al.*, 2004; ROSENHEAD; MINGERS, 2004).

Os resultados dessa análise da estruturação do problema são usados como dados de entrada para a avaliação das possíveis alternativas de solução, a luz dos critérios estabelecidos, quando, então, será utilizada a abordagem Multicritério de Apoio à Decisão. Segundo Vincke (1992), esse campo de estudo possui duas linhas de pensamento principais: a Escola Francesa – *Aide Multicritère à la Décision* – e a Escola Americana – *Multiple Criteria Decision Making*. Neste trabalho, os esforços concentram-se nas idéias da Escola Francesa, denominados métodos de sobreclassificação (*outranking*). Esses métodos baseiam-se na construção de uma relação de sobreclassificação que incorpora as preferências estabelecidas pelo decisor diante das alternativas disponíveis (ROY, 1996).

1.4 Estrutura da Tese

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, incluindo a presente introdução.

O Capítulo 2 apresenta a base conceitual que permite uma fundamentação teórica a fim de dar suporte ao desenvolvimento do trabalho. São abordados aspectos relacionados com perdas em sistemas de abastecimento de água, métodos de estruturação de problemas e métodos multicritério. São feitas algumas considerações finais.

O Capítulo 3 relata os trabalhos mais relevantes encontrados acerca desse tema e comenta suas contribuições, mediante uma revisão da literatura. Esse capítulo está subdividido em quatro partes. Primeiramente, é apresentada uma revisão das perdas em sistemas de abastecimento de água, em que se discutem os artigos que abordam métodos de avaliação de perdas e calibração de redes, ferramentas computacionais comumente utilizadas e modelos de decisão que foram encontrados sobre gerenciamento das perdas de água. Na segunda parte, é apresentado o apoio a decisão em grupo refletindo a abordagem *soft* da pesquisa operacional, em que se discutem as técnicas utilizadas para conduzir os participantes em reuniões, sendo também ressaltados os modelos de decisão em grupo baseados em métodos de estruturação de problemas. Na terceira parte, apresenta-se um estudo mais

específico sobre os modelos multicritério para decisão em grupo, refletindo a abordagem *hard* da pesquisa operacional, em que se discutem as formas que podem ser realizadas a agregação das preferências e as situações que são adequadas. Na quarta parte é discutida a fronteira entre a abordagem *soft* e *hard* da pesquisa operacional. São feitas algumas considerações finais.

O Capítulo 4 propõe um novo método para a análise das prioridades individuais dos membros do grupo, baseado na problemática de escolha. O método proposto (Análise das Prioridades Individuais para Escolha em Grupo) visa obter uma decisão final de forma a permitir uma maior quantidade de decisores satisfeitos com o resultado. Nesse capítulo também é apresentada uma extensão desse método para a incorporação da importância relativa entre os decisores. São feitas algumas considerações finais.

O Capítulo 5 apresenta um modelo multicritério de decisão em grupo para o problema de redução de perdas em sistemas de abastecimento de água. Esse modelo tem como intuito estruturar a tomada de decisão, levando em consideração as percepções dos decisores envolvidos no processo decisório, por meio da estruturação do problema e posterior análise dos dados obtidos, utilizando o método proposto no Capítulo 4. Esse modelo é capaz de apoiar um processo de decisão em todas as fases: estruturação e definição do problema, identificação de possíveis alternativas, análise das prioridades individuais e decisão final do grupo.

Concluindo, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões do estudo, mediante uma discussão geral e algumas recomendações para futuros trabalhos.

2. BASE CONCEITUAL

Neste capítulo é apresentada a base conceitual que dá suporte ao desenvolvimento do trabalho, sendo tratados os conceitos relativos às perdas em sistemas de abastecimento de água, destacando-se os tipos de perdas e as ações para o seu gerenciamento e controle. São abordados também os métodos de estruturação de problemas e de apoio a decisão multicritério.

No entanto, antes de partir para a apresentação desses conceitos, é mister destacar que muitos problemas relacionados com a gestão dos recursos hídricos apresentados na literatura atual já são tratados com Programação Linear Multiobjetivo. De acordo com Clímaco *et al.* (2003), a Programação Linear Multiobjetivo pode ser entendida como uma extensão do modelo clássico de Programação Linear quando se considera mais de uma função-objetivo. Um problema de Programação Linear consiste na maximização ou minimização de uma função-objetivo, em que as variáveis estão sujeitas a um conjunto de restrições, com a finalidade de achar uma solução ótima. Porém, ao considerar várias funções-objetivo, se as mesmas forem conflituosas entre si, deixa de fazer sentido a “solução ótima”, quando se associa a palavra “ótimo” com a questão da objetividade e em uma visão mais universal.

Um problema com múltiplas funções-objetivo consiste em determinar os vetores de solução pertencentes à região admissível, os quais maximizam simultaneamente os objetivos considerados. Sendo essas funções-objetivo conflituosas entre si, de modo que um aumento do nível de performance em um objetivo pode vir acompanhado por um decréscimo de outro, como, por exemplo, na “minimização do custo” e na “maximização da qualidade”, não existe o ótimo no sentido habitual. Na verdade, há um conjunto de soluções privilegiadas – soluções eficientes, também designadas na literatura por não-dominadas (CLÍMACO *et al.*, 2003).

Nesse caso, entra em cena o papel do decisor (ou vários decisores) que introduz suas preferências ao processo. Assim, o termo “solução ótima” não tem sido usado no sentido de solução aceita universalmente. Pois nesse caso, introduzindo a preferência do decisor, a solução atenderá à estrutura de preferência deste decisor.

Para ilustrar esse comportamento, apresenta-se um exemplo simples com duas funções-objetivo: maximizar o lucro (Z_1) e maximizar a credibilidade do sistema produtivo (Z_2), cuja formulação é (CLÍMACO *et al.* 2003):

$$\text{Max } Z_1 = 25x_1 + 20 x_2$$

$$\text{Max } Z_2 = x_1 + 8 x_2$$

Sujeito a: $x_1 + x_2 \leq 50$ (máquina do tipo A)
 $2x_1 + x_2 \leq 80$ (máquina do tipo B)
 $2x_1 + 5x_2 \leq 220$ (máquina do tipo C)
 $x_1, x_2 \geq 0$

A Figura 2.1 ilustra o resultado, de modo a perceber que não há uma solução que otimize simultaneamente as duas funções-objeto. A função-objeto Z_1 é otimizada na solução $x = (30, 20)$, no ponto P, em que $Z_1 = 1150$ e $Z_2=190$; a função-objeto Z_2 é otimizada na solução $x = (0, 44)$, no ponto R, em que $Z_1 = 880$ e $Z_2 = 352$. A solução representada na figura abaixo pelo ponto Q, $x = (10, 40)$, é uma solução intermediária entre as duas anteriores, em que $Z_1 = 1050$ e $Z_2 = 330$. Assim, as soluções P, Q e R dizem-se eficientes, porque, para qualquer uma delas, não existe nenhuma outra solução admissível que seja igual, ou melhor, nas duas funções-objeto, e estritamente melhor em pelo menos numa dessas funções objetivo. O mesmo acontece com qualquer solução das arestas PQ e QR.

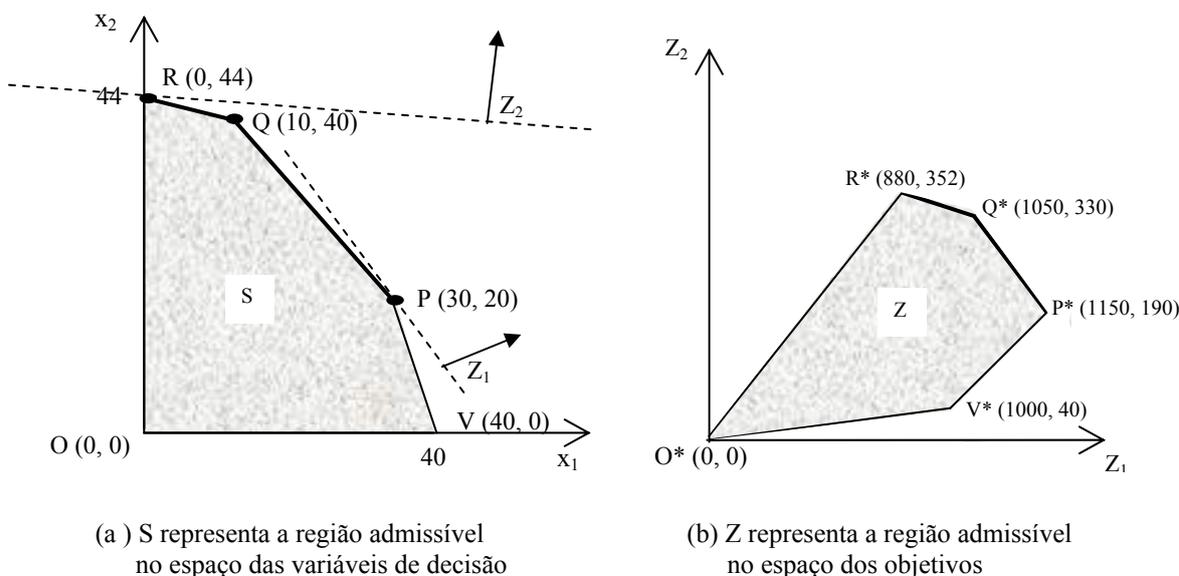


Figura 2.1 – Região admissível do problema
 Fonte: CLÍMACO et al., 2003

Daí as soluções $PQ \cup QR$ (incluindo os vértices) são eficientes, porque não são dominadas por outras soluções admissíveis. Segundo Clímaco *et al.* (2003) em programação linear monocritério, os pontos do espaço das variáveis de decisão têm uma imagem em \mathfrak{R} dada pela função-objeto, no caso multiobjetivo, as imagens são em \mathfrak{R}^p , ou seja, cada solução x tem como representação no espaço dos objetivos um ponto $z = (z_1(x), \dots, z_p(x))$. Como o exemplo é de dimensão 2, é fácil de visualizar graficamente o espaço dos objetivos (Figura 2.1 (b)), a partir das imagens dos vértices de S, que serão também vértices em Z:

	x		$z = z(x)$
O	(0, 0)	O*	(0, 0)
V	(40, 0)	V*	(1000, 40)
P	(30, 20)	P*	(1150, 40)
Q	(10, 40)	Q*	(1050, 330)
R	(0, 44)	R*	(880, 352)

Os pontos no espaço dos objetivos são as soluções não-dominadas, necessitando assim, que o decisor entre com a sua estrutura de preferência para obtenção da solução desejada.

Dessa forma e diante da complexidade dos problemas relacionados à gestão de recursos hídricos, em que se encontra dificuldade de explicitação das preferências individuais dos múltiplos decisores sob as soluções não-dominadas, além da necessidade da inclusão de aspectos de natureza social, subjetivos e não quantificáveis em unidades monetárias, justifica-se o uso da abordagem de outros métodos de apoio a decisão multicritério. De acordo com Clímaco *et al.* (2003), é oportuno registrar que, sob a designação comum de métodos com múltiplos critérios aparecem na literatura especializada dois ramos distintos:

- métodos de apoio à decisão multiobjetivo,
- métodos de apoio à decisão multicritério.

A primeira designação, já mencionado acima, diz respeito a problemas nos quais as alternativas são implicitamente definidas por um conjunto de restrições, por meio de métodos de programação matemática com mais de uma função-objetivo, os quais são adequados a problemas contínuos, ou seja, quando o número de alternativas pode ser pensado como infinitamente grande (GOMES *et al.*, 2002).

A segunda designação refere-se a métodos de seleção, ordenação ou classificação, dentre um número finito de alternativas explicitamente conhecidas, ou seja, para problemas discretos. Esta última designação será a estudada neste capítulo, tendo em vista que, em se tratando de decisões em situações complexas, métodos dessa natureza permitem considerar diversos aspectos importantes para os atores envolvidos no processo, por meio de uma rica modelagem de preferências.

De modo geral, decisões complexas possuem as seguintes características (GOMES *et al.*, 2002):

- existem vários critérios para a avaliação do problema, os quais normalmente entram em conflito entre si;
- tanto os critérios como as alternativas de solução não são claramente definidos;
- a solução do problema depende de um conjunto de pessoas, cada uma com seu próprio ponto de vista, muitas vezes conflitantes com os demais;

- as restrições do problema não são bem definidas, podendo mesmo haver alguma dúvida a respeito do que é critério e do que é restrição;

- alguns critérios são quantificáveis, de fácil mensuração, enquanto outros, que também merecem ser considerados, são totalmente subjetivos e são avaliados por meio de julgamentos de valor efetuados sobre uma escala que pode ser verbal, cardinal, ordinal, etc.

Em geral, problemas dessa natureza são considerados mal estruturados e necessitam de uma abordagem diferenciada. Assim, a abordagem de apoio a decisão multicritério reflete o juízo de valores dos decisores sobre determinado problema. Esses métodos podem servir de base para uma discussão, principalmente nos casos de conflito entre os decisores, como também em situações em que os atores envolvidos ainda não possuem uma percepção clara do problema.

Percebe-se então que, de forma geral, o problema de gerenciamento de recursos hídricos é considerado multicritério e deve ser tratado como tal.

Os métodos de apoio a decisão multicritério, adequados a problemas discretos, procuram esclarecer o processo de decisão, incorporando os julgamentos de valor dos agentes envolvidos, na intenção de acompanhar a maneira como se desenvolvem as preferências, e enriquecem o processo com a aprendizagem relativa ao entendimento do problema (GOMES *et al.*, 2002).

Além disso, a arte da modelagem em problemas não-estruturados é fundamental para o desenvolvimento adequado em busca da solução do problema. Os métodos multicritério permitem uma modelagem de preferência de todos os decisores envolvidos no processo.

2.1 Perdas em sistemas de abastecimento de água

O problema de perdas em sistemas de abastecimento de água tem sido largamente discutido nos últimos anos, tendo em vista os altos índices de perdas praticados por várias empresas concessionárias, aliado à crescente conscientização social quanto ao uso racional da água.

A falta de eficiência no gerenciamento desse recurso natural, juntamente com a questão da escassez de água potável no mundo, tem sido um dos temas centrais do debate social e político nos últimos tempos. Com mananciais cada vez mais comprometidos quantitativamente e qualitativamente, pois os ecossistemas de água doce têm sido destruídos pela poluição e pelo seu uso descontrolado, o controle e a redução das perdas nos sistemas de distribuição de água tornaram-se o grande desafio atual de todas as companhias de saneamento básico.

É crescente a importância de se preservar a água da natureza, embora a sua abundância seja um fator distintivo da Terra em relação a qualquer outro planeta conhecido. Mais de 70% de toda a área do Planeta é coberta pela água (BAUMANN, 1997). Apesar dessa aparente profusão do líquido, segundo Mendes (1998), as reservas mundiais de água potável estão a reduzir-se gradativamente.

O paradoxo da escassez da água para os humanos na Terra é em parte explicado pela forma de sua ocorrência. Verifica-se que a água doce está presente somente em 2,5% da água total existente no Planeta. Mesmo assim, dessa parcela, menos de 1% está disponível, ou seja, é passível de exploração, estando contido no subsolo, lagos e rios, e o restante é de água de geleira, sobretudo das calotas polares (ARAÚJO, 2001).

Além disso, existe uma má distribuição no tempo e no espaço, fazendo, conseqüentemente, que haja áreas do Globo Terrestre com água em abundância e outras com aridez praticamente absoluta. O Brasil é por excelência um país de profundas desigualdades na distribuição da água, em termos geográficos. Cerca de 70% da água doce disponível no território brasileiro encontra-se na Amazônia, onde vive apenas 5% da sua população, restando somente 30% de água para ser compartilhada por 95% da população brasileira (COÊLHO, 2001). Segundo Teich (2002), essa escassez de água potável limita o desenvolvimento econômico, a agricultura e até a dignidade de vida das pessoas, em termos de cuidados sanitários.

De acordo com Maddaus (2001), atualmente, cerca de meio bilhão de pessoas no mundo enfrentam problemas de escassez da água e, por volta do ano 2025, esse número deverá crescer mais de cinco vezes, atingindo cerca de 2,8 bilhões de seres humanos, ou seja, 35% da população mundial projetada para aquele ano, estimada como sendo da ordem de 8 bilhões de pessoas.

Para agravar a situação, as empresas de abastecimento no Brasil comumente operam com índices de perdas de água que variam entre 30% e 60% em média (SNIS, 2004). Tais índices concorrem para a operação deficiente sob o ponto de vista técnico, proporcionando a descontinuidade no fornecimento de água, comprometendo as finanças da concessionária, bem como o conceito junto ao público consumidor.

É importante ter em mente que os sistemas de abastecimento de água são componentes fundamentais para a vida nos complexos sistemas urbanos, sendo concebidos e dimensionados, no domínio da hidráulica, para satisfazer determinada procura de água potável em domicílio.

De acordo com Simão e Rodrigues (2001), esses sistemas garantem várias preocupações por parte da entidade gestora responsável pela sua exploração, durante toda a sua vida útil. São preocupações de ordem técnica: a qualidade e a quantidade de água na origem, o estado de conservação das infra-estruturas de transporte da água, o tipo de tratamento a realizar de forma a respeitar a legislação vigente quanto à qualidade da água distribuída, a capacidade de armazenamento global disponível no sistema, etc. A essas preocupações são acrescentadas outras de ordem ambiental (minimizar o desperdício), econômica (exigências de gestão eficaz) e social (prestar um serviço de melhor qualidade a preços mais justos).

É evidente que dar resposta a todas essas solicitações não é uma tarefa fácil. É necessário que o cadastro técnico do sistema esteja acessível, de preferência em tempo real, com um mapeamento dos clientes da rede, além dos registros dos volumes entregues e faturados, conhecimento do estado de cada um dos componentes da rede (válvulas de controle, registros, bocas de incêndio, etc.) e ainda de variáveis de estado tão fundamentais, como sejam as pressões na rede. Para atingir todas essas condições, é preciso um adequado monitoramento do sistema como um todo.

Além disso, um outro aspecto que também deve ser considerado é que tomadas de decisão nesse setor não são realizadas de forma individual, mas levam em consideração vários pontos de vista de diferentes atores envolvidos no processo, dando uma complexidade ainda maior ao problema.

Então, a fim de concentrar esforços no processo de gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água de forma a controlar e reduzir as perdas, serão apresentados a seguir alguns conceitos gerais que estão sendo tratados no ambiente acadêmico e técnico relacionados com essas questões.

2.1.1 Programa de ação em nível federal

Em 1997, foi instituído, em nível federal, um programa de apoio à conservação e ao uso racional da água para as empresas de abastecimento público, o PNCDA (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água), coordenado em âmbito nacional pela Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República.

Esse programa tem por objetivo geral promover o uso racional da água para o abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, a fim de resultar na melhoria da produtividade dos ativos existentes, bem como da eficiência do sistema atual, tendo como consequência a postergação de parte dos investimentos para a expansão dos sistemas.

Segundo o PNCDA (1998), para uma política abrangente de conservação da água, são identificados três níveis de agregação funcional dos sistemas e tipos de ações: (i) nível *macro*, dos sistemas ambientais e bacias hidrográficas; (ii) nível *meso*, dos sistemas públicos urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário; (iii) nível *micro*, dos sistemas prediais e comunitários fechados.

Na estruturação institucional das ações abrangidas pelo PNCDA, são trabalhados os pontos de vista do interesse público, da concessionária e do consumidor, destacando-se suas linhas de convergência e de divergência, pois conflitos inevitavelmente emergem das ações de conservação em geral.

Além disso, nesse programa, segundo Silva *et al.* (1999), foi incluído o componente "Tecnologia dos Sistemas Públicos", que visa à melhoria operacional no controle de perdas no âmbito da conservação urbana de água. Esses conteúdos são agora associados a uma visão mais ampla de combate ao desperdício, segundo a qual o objetivo de maior eficiência no uso da água é buscado em todas as fases de seu ciclo de utilização.

A principal motivação para a racionalização do uso da água no plano dos sistemas públicos de abastecimento está no segmento compreendido entre a captação e a entrega da água ao usuário final, ou seja, está majoritariamente concentrada nos subsistemas de tratamento e distribuição, a jusante da captação e a montante das instalações prediais. Nessa fase, o prestador se vê pressionado pela escassez de água bruta ou por custos crescentes de captação, o que é comum na maioria das cidades brasileiras, e pelas edificações e sistemas fechados, onde o sistema não dispõe de micromedição, ou o custo marginal dos investimentos necessários à expansão da oferta tende a superar os benefícios das novas vazões vendidas.

Ainda que se possa constatar uma propensão para promover a economia de água à montante e à jusante dos subsistemas centrais de adução, tratamento e distribuição, a tendência no longo prazo é de concentrar seus esforços de economia sobre os segmentos que afetam diretamente no percurso da água produzida e ainda não-faturada (SILVA *et al.*, 1999).

2.1.2 Programa de ação em países desenvolvidos (exemplo do Reino Unido)

De acordo com Engelhardt *et al.* (2000), a indústria da água no Reino Unido (Inglaterra, Escócia, Irlanda do Norte e País de Gales) foi privatizada em 1989. Devido à natureza monopolista dessa indústria, o Governo do Reino Unido criou a OFWAT (*Office of Water Services*), que é uma agência reguladora dos serviços de água dessas companhias. O objetivo desse órgão é assegurar que as empresas estejam executando as suas funções de acordo com a

Lei da Indústria das Águas, 1991¹, e dentro da estrutura das licenças das empresas. Além disso, a OFWAT deve verificar se as companhias são capazes de financiar suas operações, em particular garantindo uma razoável taxa de retorno do capital.

A principal componente do regime regulatório da OFWAT é a competição comparativa, que envolve uma comparação cruzada da performance das 26 companhias de água. Para apoiar essa comparação, a OFWAT definiu medidas de nível de serviços que as empresas são obrigadas a reportar anualmente à agência (os chamados de padrões diretores gerais – DG. Por exemplo, níveis de serviço correspondentes à disponibilidade de recursos hídricos (DG1); número de propriedades que geralmente recebem ou estão em risco de receber água com pressão inferior a 10m.c.a (DG2); número de interrupções no abastecimento (DG3), dentre outros).

As companhias de água, a OFWAT e as agências de meio-ambiente do Reino Unido concordam com a idéia de reduzir perdas na distribuição a um nível econômico. Para promover e sustentar uma redução dos níveis de vazamento da companhia, além dos níveis de exigências de serviço, foram introduzidas metas de vazamentos obrigatórias junto com medidas de execução rígidas para assegurar o atendimento. Tais objetivos são impostos anualmente, depois de uma consulta às companhias de água individuais, à agência de meio-ambiente e ao Secretário de Estado.

2.1.3 Tipos de perdas

Para o PNCDA, em sistemas públicos de abastecimento, do ponto de vista operacional, as perdas de água são consideradas correspondentes aos volumes não-contabilizados. Esses englobam tanto as perdas físicas, que representam a parcela não-consumida, como as perdas não-físicas, que correspondem à água consumida e não-registrada.

As perdas físicas, também chamadas de reais, originam-se de vazamentos no sistema, o que envolve a captação, a adução de água bruta, o tratamento, a reservação, a adução de água tratada e a distribuição, além de procedimentos operacionais, como lavagem de filtros e descargas na rede, quando esses provocam consumos superiores ao estritamente necessário para a operação. Os vazamentos podem ser ocasionados por aparelhos fora de vida útil, baixa qualidade dos materiais hidráulicos, falha na especificação e no controle de qualidade dos materiais utilizados, falta de setorização por zonas de pressão, o que provoca altas pressões nas redes, mão-de-obra não-capacitada para a execução dos trabalhos, falta de um sistema de

¹ Do inglês *Water Industry Act*, 1991. Trata-se de um documento criado para oferecer uma estrutura de centralização das decisões de gestão das águas em nível federal no Reino Unido.

controle operacional, dentre outros fatores (MCKENZIE; SEAGO, 2005; COÊLHO, 2001; PNCD, 1998).

As perdas não-físicas, também chamadas de aparentes, comerciais ou de faturamento, originam-se de ligações clandestinas ou não-cadastradas, hidrômetros parados ou que submedem, fraudes em hidrômetros e outras. São também conhecidas como perdas de faturamento, uma vez que seu principal indicador é a relação entre o volume disponibilizado e o volume faturado, ou seja, a água é produzida e chega ao seu destino final por meios ilícitos ou sem medição legal. É na rede de distribuição que essas perdas são mais factíveis de ocorrer, devido à falta de equipamentos de medição de consumo (hidrômetros), ou à sua má aferição (MCKENZIE; SEAGO, 2005; COÊLHO, 2001; PNCD, 1998).

A título de ilustrar a distribuição de perdas em um sistema público de abastecimento, a Figura 2.2 apresenta um fluxograma dos percentuais dos resultados dos estudos conduzidos pela EMBASA (Empresa Baiana de Águas e Saneamento) para reduzir o índice de perdas totais do SIAA (Sistema Integrado de Abastecimento de Água) de Salvador, Lauro de Freitas e Simões Filho (MARCKA, 2004). Trata-se de um estudo de grande envergadura, na qual se procurou quantificar as perdas físicas e de faturamento em todo o sistema metropolitano, informações essas dificilmente quantificadas e disponíveis. Verificou-se pelas estimativas dos valores encontrados que, em 2001, do percentual de perdas existentes no sistema, cerca de 70% eram perdas físicas, isto é, volumes perdidos em vazamentos nas tubulações, extravasamentos de reservatórios, problemas nas instalações das unidades localizadas ou mesmo nos processos de produção e distribuição, enquanto o restante eram perdas não-físicas, constituídas por erros de medição e de gestão comercial mediante retiradas não-faturadas.

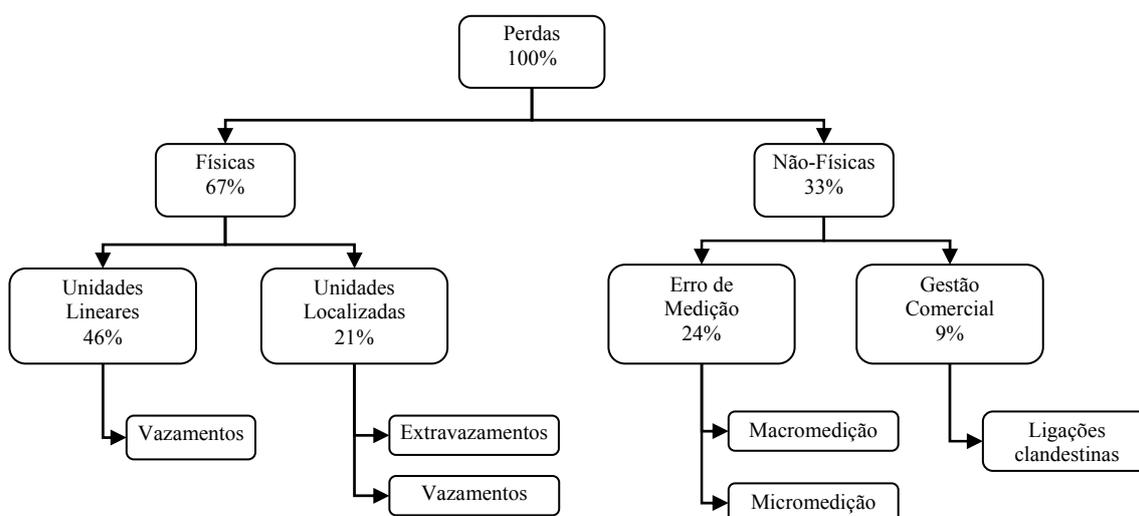


Figura 2.2 – Percentual Médio de Perdas nos sistemas de abastecimento de água

Fonte: MARCKA, 2004

Observa-se que as perdas físicas decorrentes dos vazamentos incham os custos de produção e desgastam os recursos hídricos, pois representam a água que foi captada e tratada, mas não chegou a ter um uso apropriado. A principal origem delas em um sistema público de abastecimento está nas redes distribuidoras e nos ramais prediais. As redes distribuidoras apresentam as maiores dificuldades operacionais do sistema, justamente por serem obras enterradas e estarem espalhadas por grandes áreas urbanas.

É mister destacar que, para o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2004), os indicadores de perdas de água em percentual têm sido considerados no meio técnico como inadequados para a avaliação de desempenho, além de serem fortemente influenciados pelo consumo, pois, para um mesmo volume de água perdida, quanto maior o consumo, menor o índice de perdas em percentual. Além disso, tais indicadores imprimem uma característica de homogeneidade aos sistemas, o que não ocorre na prática, pois fatores-chaves com impacto sobre as perdas são diferentes de sistema para sistema, tais como a pressão de operação, a extensão de rede e a quantidade de ligações atendidas.

A seguir são apresentados alguns índices de perdas encontrados em alguns países do mundo e no Brasil.

➤ Índices de perdas no mundo

Os índices de perdas para cidades de diferentes países variam muito (ver exemplos na Tabela 2.1), e observa-se que o nível de eficiência do controle da água não-contabilizada nem sempre está relacionado com o desenvolvimento do país.

Tabela 2.1 – Situação das perdas em algumas cidades do mundo

Cidade	País	Índice de perdas (%)
Barcelona		22,09
Pamplona	Espanha	28,00
Sevilha		24,29
Alicante		19,21
Munique	Alemanha	13,60
Frankfurt		4,81
Hamburgo		5,67
Gronigen	Holanda	5,30
Estocolmo	Suécia	22,86
Paris	França	12,80
Bordeaux		21,48
Marselha		36,00
Roma	Itália	25,03
Nápoles		11,90
Bruxelas	Bélgica	15,17
Atlanta	Estados	11,92
Colombus	Unidos	23,04
Londres	Inglaterra	42,35
Glasgow	Escócia	49,60

Fonte: COELHO, 2001

➤ Índices de perdas no Brasil

De acordo com o SNIS (2004), o índice médio de perdas, tanto físicas como não-físicas, nas empresas estaduais de saneamento é em torno de 40%. Na Figura 2.3, são apresentados os percentuais das perdas de faturamento por região do Brasil.

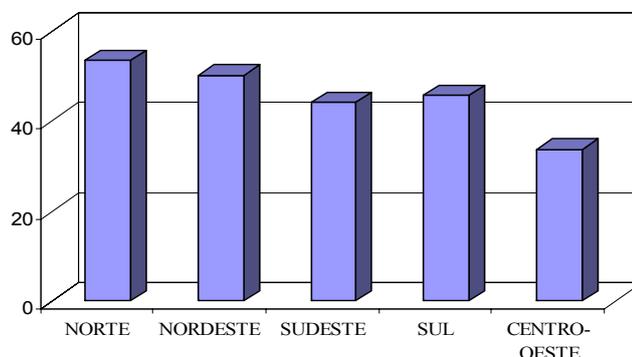


Figura 2.3 – Índice de perdas por região do Brasil
Fonte: SNIS, 2004

Segundo Araújo (2001), esses índices permitem visualizar que a redução das perdas corresponderia à colocação no sistema de ofertas de água para atender satisfatoriamente às ações de comercialização, sem necessidade imediata de ampliações. Essa redução das perdas pode refletir-se numa melhoria das condições de abastecimento dos sistemas, com reflexos favoráveis sob os pontos de vista técnico, econômico, financeiro e social.

De acordo com a *International Water Association* (IWA), qualquer discussão sobre perda de água tem de começar com a definição dos tipos de perdas que são associadas ao abastecimento de água. McKenzie e Seago (2005) estabeleceram que um balanço de água claramente definido é o primeiro passo na avaliação do volume de água não-faturada e no gerenciamento de sistemas de distribuição de água. Os autores publicaram um padrão internacional da "melhores práticas" de balanço da água, como está mostrada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Padronização do balanço da água

Água Produzida	Consumo Autorizado	Residencial	Água Faturada
		Comercial	
		Industrial	
		Institucional	
		Consumo especial	
		+ Consumo operacional	
	Consumo Não-Autorizado	Transbordamentos	Perdas Reais
		Vazamentos	
		Desperdícios	
		Consumo ilegal	Perdas Aparentes
		Erros na macromedicação	
		Erros na micromedicação (hidrômetros)	
	Erros na estimativa		

Fonte: MCKENZIE *et al.*, 2005

De acordo com Arreguín-Cortes e Ochoa-Alejo (1997), as perdas de água podem ser um fator limitante ao desenvolvimento das redes de distribuição. A redução das perdas físicas permite diminuir os custos de produção - mediante redução do consumo de energia, de produtos químicos e outros - e utilizar as instalações existentes para aumentar a oferta, sem expansão do sistema produtor. A redução das perdas não-físicas permite aumentar a receita tarifária, melhorando a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro do prestador de serviços. Contribui indiretamente para a ampliação da oferta efetiva, uma vez que induz à redução de desperdícios por força da aplicação da tarifa aos volumes efetivamente consumidos.

De acordo com Morais e Almeida (2005), várias são as causas dos altos índices de perda na rede de distribuição, mas dentre elas destacam-se:

- Vazamentos aparentes: afloram na superfície, sendo normalmente de grande magnitude;
- Vazamentos invisíveis ou subterrâneos: de pequena magnitude, que necessitam de equipamentos acústicos especiais para detectá-los ou localizá-los;
- Falha na especificação e controle de qualidade dos materiais utilizados;
- Mão-de-obra não-qualificada para a execução dos serviços;
- Efeito do tráfego;
- Intermitência no abastecimento;
- Alta pressão (os tubos, conexões, válvulas e peças especiais são fabricados para funcionar com determinada pressão; se submetidos a pressões superiores à de serviço, podem romper e provocar vazamentos. Por esse motivo, a rede deve ser monitorada, a fim de se evitar que a tubulação trabalhe em pressão superior à do projeto).
- Falta de setorização na rede (setorização significa dividir a rede em setores de abastecimento, para facilitar o controle, por meio de indicadores que propiciem ações corretas, direcionadas às partes dos sistemas com maiores problemas; ou dividir a rede por zonas de pressão).

De acordo com a *World Health Organization* (WHO, 1994), a perda de água pode ser representada pela seguinte equação:

$$L = \frac{V_p - (V_m + V_e)}{V_p} \times 100\%$$

V_p

em que:

L = perda (%);

V_p = volume de água produzido (m^3)

V_m = volume de água medido (m^3);

V_e = volume de água estimando para as casas conectadas sem hidrômetros (m^3);

Segundo essa organização, tal perda é normalmente atribuída a vazamentos, erros na leitura dos hidrômetros ou usos não-recuperáveis da água, de acordo com os seguintes conceitos:

- vazamento representa perdas devido ao transbordamento de água dos reservatórios e vazamento de tubos ou outras partes do sistema de distribuição, inclusive conexões de casa até o hidrômetro. Também são incluídos vazamentos e transbordamentos dentro das propriedades onde consumo não é medido.

- erros na leitura respondem por uma parte significativa das perdas totais e são causados por inexatidão nos equipamentos de medição do fluxo (macro e micromedidores). Essa categoria de perda é uma indicação da eficiência de medição do sistema.

- usos não-recuperáveis representam perdas pelas quantidades de água que não podem ser cobradas pela agência. Essa categoria inclui o consumo operacional (lavagem e desinfecção dos tubos e reservatórios), consumo especial (água para bombeiros e irrigação de áreas públicas), conexões ilegais.

De acordo com Arreguín-Cortes e Ochoa-Alejo (1997), das muitas causas de perdas de água em redes de distribuição, as que mais se destacam são os vazamentos. Há várias causas para os vazamentos e estão relacionadas com o tipo de solo, a qualidade da água, a tecnologia e o material usado na construção da rede, a pressão operacional e a idade do sistema, as práticas de operação e de manutenção realizadas.

Os vazamentos acontecem em uma rede quando um tubo apresenta uma quebra circunferencial (provocada por vibrações de cargas de superfície) ou longitudinal (devido à fadiga, defeitos de fabricação), corrosão, esmagamentos ou conexões fracas.

Arreguín-Cortes e Ochoa-Alejo (1997) apresentaram alguns benefícios ganhos com a detecção e reparo dos vazamentos, tais como:

- Redução no desperdício de água, eletricidade (menos tempo de bomba ligada), e desinfetantes usados no tratamento da água para os padrões estabelecidos de consumo;

- Melhoria da saúde financeira das empresas pela redução dos custos de produção, bombeamento e tratamento;

- Redução de riscos de poluição, limitando a possibilidade de infiltrações por conexões fissuradas;

- Melhoria da participação do cidadão - um sistema bem-operado estimula a participação do usuário em defesa da manutenção do sistema por meio de avisos de vazamentos e defeitos nos medidores e água;

- Aumentos nas tarifas são mais demorados por consequência da operação eficiente.

De acordo com Hirner *et al.* (1999) *apud* Venturini *et al.* (2001), a quantidade de água perdida é um importante indicador da eficiência de uma empresa de abastecimento, tanto em termos absolutos num dado momento, como em termos de tendência ao longo dos anos. Volumes de perda de água anuais altos e com tendência a aumentar servem como indicador de ineficiência no planejamento e construção, bem como demonstram a deficiência em nível de manutenção e de operação do sistema. A redução das perdas de 45% para 25% nas empresas de saneamento brasileiras resultaria na disponibilização de recursos da ordem de R\$ 1,0 bilhão/ano (SNIS, 2004).

Segundo Venturini *et al.* (2001), a falta de planejamento e manutenção adequada, associada à escassez de recursos financeiros, tem tornado deficientes os sistemas de abastecimento de água. Com o passar do tempo, os sistemas se deterioram de maneira natural ou acelerada, dando origem a problemas operacionais que provocam a diminuição da qualidade dos serviços prestados e o aumento dos custos operacionais, os quais recairão sobre os consumidores na forma de tarifas. Tais efeitos podem ser sentidos pelas empresas diante dos altos índices de perdas de água no sistema, principalmente associados à alta pressão de trabalho, gerando um grande número de rupturas; ao crescente aumento das despesas com a manutenção do sistema; ao aumento significativo do consumo energético, uma vez que manobras operacionais tendem a compensar o funcionamento deficiente do sistema; ao aumento do número de reclamações.

Deve-se ter em mente que o atendimento aos usuários do sistema só terá bons resultados quando as empresas de saneamento conseguirem minimizar o déficit de água, maximizar a segurança e a confiabilidade do sistema, maximizar a qualidade do serviço prestado, empregar tarifas adequadas na cobrança dos serviços, etc. A qualidade do serviço de abastecimento de água é traduzida não apenas com base na confiabilidade do atendimento à demanda, mas também em outros aspectos importantes, tais como:

- a tarifa cobrada pelo serviço;
- o grau de utilização e comprometimento dos recursos hídricos disponíveis em termos quantitativos e qualitativos;
- a sustentabilidade dos recursos e serviços no médio e longo prazo;
- a garantia do atendimento aos requisitos de pressão mínima e máxima na rede;

- a operação com o mínimo de perdas.

De acordo com Marcka (2004), a falta de eficiência no gerenciamento dos sistemas conduz a resultados que não alcançam os objetivos almejados pelos projetos de controle de perdas. O controle operacional adotado na grande maioria dos sistemas brasileiros tem sido exercido de forma que o consumidor se incumba de identificar as faltas de água e as incidências de má qualidade do produto, cabendo ao fornecedor o gerenciamento passivo, sempre tardio, ineficaz e dependente.

Além disso, os consumidores reconhecem que o serviço é prestado com freqüentes interrupções das vias públicas para a execução de reparos nas redes de distribuição ou redes adutoras; que o abastecimento de água é intermitente, pois o sistema não tem capacidade para suprir a demanda; que usualmente há problemas de pressão da rede muito acima ou abaixo dos limites normalizados, o que causa danos aos usuários.

Nessa perspectiva, alerta-se para a necessidade de serem gerenciados os sistemas públicos de abastecimento de água, e conseqüentemente os recursos hídricos, adotando-se medidas tanto preventivas como reparadoras, a fim de que seja obtida uma distribuição de forma justa, que atenda plenamente o consumidor, não agrida o meio ambiente e seja coerente com a realidade da empresa concessionária da água (AL-RASHDAN *et al.*, 1999). Para isso, faz-se necessário o planejamento das ações de manutenção especialmente relacionadas com a redução de perdas de água. O problema em questão é a escassez de recursos financeiros e a falta de foco sobre onde agir de forma prioritária.

2.1.4 Relação demandas x perdas em sistemas de abastecimento de água

Protopapas *et al.* (2000) declaram que muitos estudos indicam que o consumo de água sofre alterações causadas por algumas variações de fatores:

- Climáticos – precipitações, temperatura ambiente;
- Diários – dia da semana;
- Horários – picos horários ao longo do dia;
- Sazonais – estação do ano, como verão ou inverno;
- Sócioeconômicos – renda média familiar.
- Tipo de consumidores – perfil de consumo comercial, residencial industrial, etc.

Com base em uma série histórica de consumo de água, podem-se construir curvas típicas e parâmetros de consumo por setores, cujo objetivo é refinar os cálculos de planejamento, projeto e operação que partem do conhecimento do consumo. Várias são as finalidades para a aplicação da curva de consumo, tais como o planejamento de longo prazo, a elaboração de projetos, os projetos de readaptação, a programação da operação, dentre outros.

Além desses objetivos normais, o conhecimento da curva de demanda agrega outras informações. De acordo com Obradovic (2000), as demandas e as perdas em redes de distribuição de água são dependentes da pressão do sistema. Em seu estudo, o autor apresenta a relação entre demanda e perdas de água, concluindo que os mais altos índices de perdas ocorrem durante a noite, quando as pressões de serviço na rede são altas, devido às baixas demandas, enquanto durante o dia são menores os índices pelas mesmas razões. Além disso, ele constatou que as perdas de água não somente devem ser levadas em consideração nos cálculos do dimensionamento das redes de distribuição, como também devem ser modeladas separadamente a partir da demanda pura. O autor propõe a introdução de diagramas diários para as perdas, como mostra a Figura 2.4, que apresenta essa proposta de relação de perdas relacionadas a típicas demandas domésticas diárias. Esse diagrama é hipotético, mas é validado no processo de calibração de modelos de dimensionamento.

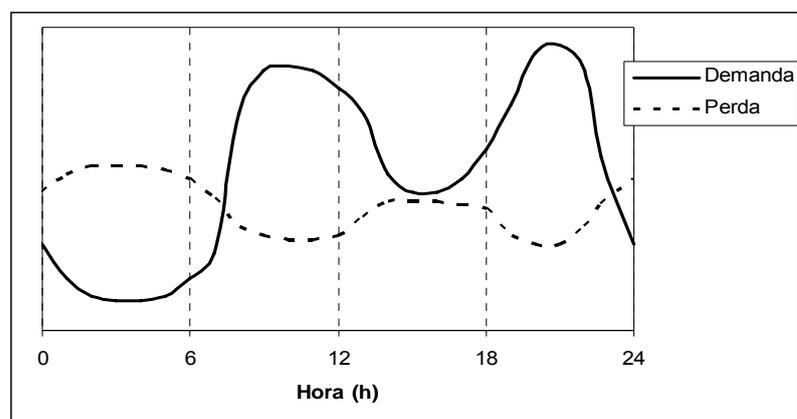


Figura 2.4 – Diagrama diário das demandas domésticas e perdas relevantes
Fonte: OBRADOVIC, 2000

Os dados para a alocação espacial da demanda e das perdas podem ser coletados de várias fontes: controle dos medidores (macro e micromedidores), telemetria², sistema de informação georreferenciada, etc. É importante notar que esses dados são coletados em condições e circunstâncias normais, ou seja, sem contar com situações de emergência, por exemplo, quando certas partes da rede são sujeitas a pressões mais altas, enquanto outras são despressurizadas completamente. Então, é claramente necessário que sejam analisadas as relações existentes entre a demanda e as perdas e pressões de serviço.

Para Silva e Mikowski (2005), em condições normais da rede de distribuição, uma diminuição de 10% na pressão implica uma redução de 11,5% nas vazões dos vazamentos (aproximadamente, pode-se dizer que a vazão aumenta ou diminui linearmente com a

² Telemetria designa as tecnologias envolvidas na obtenção e processamento de dados a distância. A telemetria pode ser usada para a exploração de lugares de difícil acesso, como o subsolo, o fundo do mar ou o espaço exterior.

pressão). A vazão mínima noturna é um importante indicador da ocorrência de vazamentos no sistema, pois a proporção dos vazamentos em relação ao consumo legítimo é maior que nos períodos de maior consumo.

De acordo com Jowitt e Xu (1990), o vazamento de água nas redes de distribuição está diretamente relacionado com o sistema de pressão de serviço. A relação entre vazamentos e pressão de serviço, estudada pelos autores, está apresentada na Figura 2.5, a qual foi baseada em um conjunto de dados de experimentos de campo de uma pesquisa para o *Water Research Centre*. As experiências consistiram em observar distritos operacionais com um pequeno ou nenhum consumo noturno hidrometrado e pressões variadas, registrando os fluxos noturnos resultantes. Os autores lembram que o vazamento não depende somente da pressão, e que na figura a abscissa representa o índice de vazamento e não o volume de vazamento. Pode ser observado que o índice de vazamentos cresce proporcionalmente com o acréscimo da média da pressão de serviço, sendo o pico da curva na mais alta pressão. Assim é notório que o efeito no vazamento de uma mudança de pressão será maior em pressões mais altas.

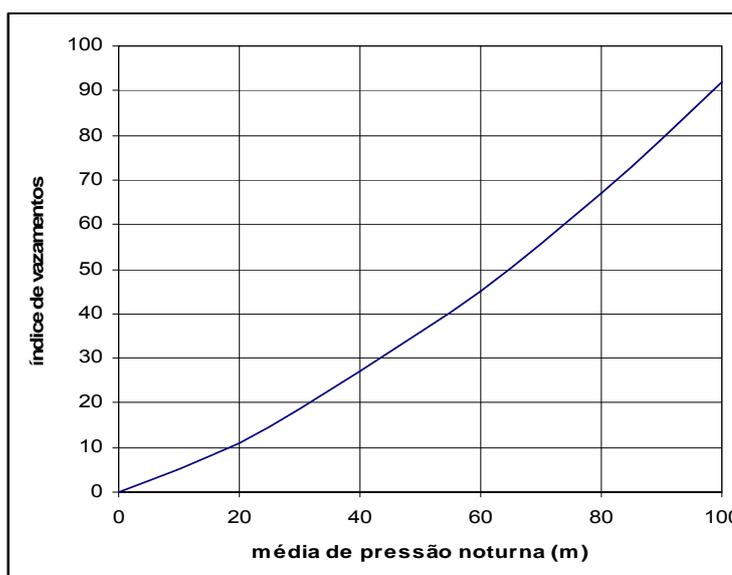


Figura 2.5 – Relação entre vazamentos e pressão
Fonte: JOWITT e XU, 1990

Conclui-se, então que, do ponto de vista econômico operacional da rede, é importante reduzir perdas por vazamento reduzindo altas pressões na rede. Por outro lado, é imperativo que pressões suficientes sejam mantidas na rede para garantir que as demandas dos consumidores sejam completamente atendidas durante todo o tempo. Esse conflito de objetivos gera a necessidade de se determinarem políticas operacionais que levarão em conta ambas as exigências. O objetivo idealizado de tal política seria sempre manter tal perfil de carga na rede que as pressões em diferentes partes fossem apenas suficientes para abastecer as

demandas correspondentes. Porém, as cargas na rede não são diretamente controláveis, e tal perfil de carga ideal seria impossível de ser mantido em todas as localizações. Pressões que excedam a estritamente necessária para abastecer as demandas existirão inevitavelmente, de forma que pressões suficientes são mantidas em todos os lugares no sistema, incluindo, por exemplo, pontos de alta elevação. O objetivo operacional será então a minimização desses excessos ao longo da rede.

Observa-se, assim, que reduções nas altas pressões irão resultar em consideráveis reduções de vazamentos. Embora as companhias de água estejam cada vez mais preocupadas com essa questão, é raro observar sistemas de válvulas de controle integradas dentro do controle operacional e de telemetria do sistema (JOWITT; XU, 1990).

Desse modo, a modelagem hidráulica é uma ferramenta muito útil para a simulação do comportamento hidráulico de uma rede de distribuição, ao apresentar parâmetros de referência para o controle. O controle de pressão possibilita:

- Reduzir o volume perdido em vazamentos, economizando recursos de água e custos associados;
- Reduzir a frequência de arrebentamentos de tubulações e conseqüentes danos que têm reparos onerosos, minimizando também as interrupções de fornecimento e os perigos causados ao público usuário de ruas e estradas;
- Prover um serviço com pressões mais estabilizadas ao consumidor, diminuindo a ocorrência de danos às instalações internas dos usuários até à caixa d'água (tubulações, registros e bóias);
- Reduzir os aumentos dos consumos relacionados com as altas pressões da rede.

2.1.5 Nível econômico de controle de vazamentos

De acordo com Engelhardt *et al.* (2000), o Informe 26 (NWC/DoE, 1980) declarou que era claramente pouco econômico assegurar que as redes de distribuição e os reservatórios nunca irão vazar, mas também que havia um limite econômico para a extensão das perdas de água. Esse Informe destacou a necessidade de controlar os vazamentos e alcançar um equilíbrio entre o custo de recuperação e os custos associados com as perdas de água.

O Informe 26 recomendou um grau de controle ativo de vazamento que seria econômico em todos os casos, o qual envolveria a desagregação das grandes redes em áreas de distritos hidrometrados, para promover uma administração mais fácil, principalmente com relação a vazamentos. Em combinação com esta re-configuração, também foram recomendados esquemas de redução de pressão por promover um bom retorno na quantia de água economizada. O nível econômico de vazamento para uma rede particular foi considerado

como sendo a composição dos custos em termos de produção e distribuição de água e de recuperação dos vazamentos, conforme pode ser visto na Figura 2.6.

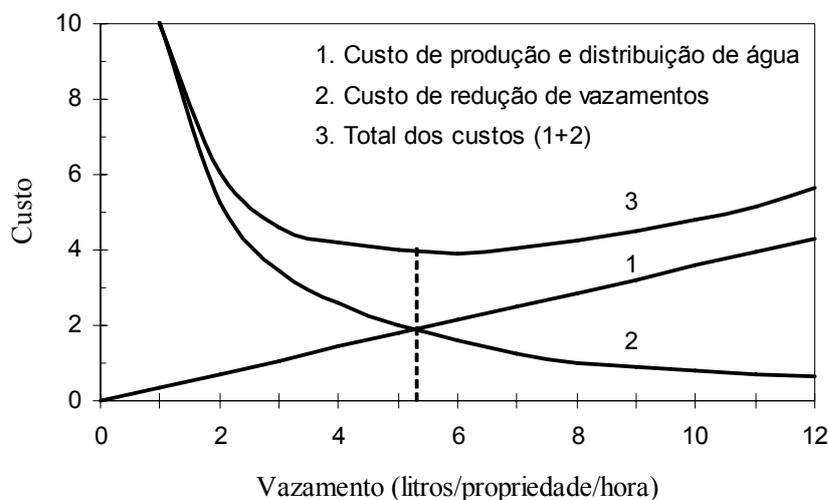


Figura 2.6 – Indicação do ponto ótimo de nível de vazamento
Fonte: ENGELHARDT et al., 2000

Os custos de produzir e distribuir água, somados aos custos de reduzir vazamentos, são diferentes entre as redes. Por exemplo, onde a água é abastecida por sistemas por gravidade, o custo marginal da água extra, que vazará, é menor do que se a água fosse abastecida por sistemas bombeados (COLOMBO; KARNEY, 2002).

Os modelos de vazamento consideram o fracasso estrutural das tubulações principais. Essas abordagens foram desenvolvidas para aumentar a eficiência dos sistemas de distribuição de água mediante a diminuição global da demanda. A questão é: até que nível de vazamento é economicamente sustentável a decisão de reduzir? Geralmente, isso habilita as decisões a serem tomadas, por exemplo, em relação aos esquemas de redução de pressão ou à substituição de partes de uma rede que experimente altos níveis de vazamento.

De acordo com Colombo e Karney (2002), vazamentos são caros, por uma variedade de razões: perda de água e substâncias químicas de tratamento, aumento do risco de má qualidade da água, deterioração, expansão de capacidade desnecessária e aumentos das despesas de energia exigidos para alimentar os vazamentos.

2.1.6 Ações para o gerenciamento e controle

Para o PNCDA (1998), o desenvolvimento de medidas de natureza preventiva de controle de perdas nas fases de projeto e construção do sistema envolve a necessidade de passos iniciais de organização anteriores à operação. As medidas devem contemplar, dentre outras:

- a boa concepção do sistema de abastecimento de água, considerando-se os dispositivos de controle operacional do processo;
- a qualidade adequada das instalações das tubulações, equipamentos e demais dispositivos utilizados;
- a implantação dos mecanismos de controle operacional (medidores e outros);
- a elaboração de cadastros;
- a execução de testes pré-operacionais de ajuste do sistema.

Para atacar as perdas físicas, é necessário um adequado plano de manutenção, ou seja, um planejamento de atividades técnicas e serviços que objetivam manter a infra-estrutura de abastecimento em uma capacidade de desempenho desejada, ou para restabelecê-la à capacidade projetada. De acordo com Tucciarelli *et al.* (1999), a manutenção preventiva de redes e ramais de água tem atingido resultados bastante significativos para a operação do sistema de distribuição, reduzindo as perdas e proporcionando a disponibilidade de água em quantidade, qualidade e pressão adequadas para os clientes.

É importante ressaltar que um sistema de distribuição de água urbano eficiente deve ser operado no horizonte diário com o menor gasto com energia elétrica, fornecendo em cada nó da rede as demandas de consumo com pressões desejadas. Além disso, o sistema de distribuição deve ser confiável no sentido de permitir o suprimento de água em condições anormais, ocasionadas por avarias em elementos do sistema.

O programa para o controle de perdas de água inclui as atividades realizadas por uma agência para alcançar e manter o mais baixo nível de perda (a partir de vazamentos, transbordamentos, uso ilegal da água, desperdício, consumo operacional, consumo especial, erros na medição ou estimação).

Arreguín-Cortes e Ochoa-Alejo (1997) declararam que submedição de hidrômetro é também uma das causas mais importantes de perdas aparentes. A medição nas cidades é normalmente feita de duas formas:

- Macromedição: usada para quantificar os volumes recebidos, transportados e distribuídos. Essa informação é básica para se planejar, projetar, construir, operar, manter e administrar as unidades de água.

- Micromedição: usada para quantificar o uso da água pelo consumidor periodicamente e prover incentivos para o uso racional. São os chamados hidrômetros. Foi constatado que a implantação de medidores de pequena escala podem reduzir o consumo de água doméstico em até 25% (GRISHAM; FLEMING, 1989), especialmente na parcela da população que paga por um consumo estimado. Um sistema de hidromedidação adequado também é necessário para:

prover informação sobre o comportamento das demandas dos usuários; otimizar o processo de faturamento; gerar informação que assegure um abastecimento homogêneo da água em diferentes zonas de pressão; calcular volumes de água não-faturadas; e prover informações para o desenvolvimento, implementação e controle de políticas de taxa.

Segundo Tucciarelli *et al.* (1999), um programa de controle de perdas de água tem os seguintes objetivos:

- reduzir as perdas a um mínimo aceitável;
- atender às demandas adicionais com a água disponível a partir da redução das perdas (usualmente beneficia áreas mais afastadas);
- assegurar que as funções do sistema de abastecimento de água serão tão eficientes quanto possível por um período de tempo o maior possível;
- aumentar a vida útil das instalações;
- distribuir água para tanto usuário quanto possível e assegurar que os custos sejam compartilhados igualmente entre os consumidores;
- minimizar o custo de produção e distribuição da água.

A falta de administração eficiente das agências conduz a resultados pobres de projetos de controle de perda, conseqüentemente, a necessidade de instalações novas ou melhorias nas instalações existentes serão exigidas bem antes do tempo planejado.

Decisões para ampliar as instalações de abastecimento de água não deveriam ser motivadas exclusivamente pelas negligências no atendimento, devendo estar baseadas em dados fidedignos e em estudos de planejamento adequados, para que o fracasso no controle das perdas, que certamente conduzirá a reclamações dos usuários, não seja motivo para a ampliação da capacidade do sistema, que continuará perdendo muita água.

Os programas de controle de perdas não só devem evitar as falhas, como vazamentos e erros de leitura dos hidrômetros, como também devem investigar as suas causas e, até onde é possível, reduzi-las ou eliminá-las. É indispensável que um programa de controle de perdas aborde o planejamento, o projeto, a construção, o recebimento de materiais e equipamentos, a operação, a manutenção, o marketing, a organização e a administração. Envolve sistemas e pessoas dentro e fora da agência, desde que suas atividades possam conduzir à introdução de mudanças de longo alcance que se estendam até mesmo aos consultores, contratantes e provedores de materiais e equipamento.

2.2 Estruturação de problemas

De acordo com Mingers e Rosenhead (2004), problemas não-estruturados são caracterizados pela existência de múltiplos atores, múltiplas perspectivas, interesses de difícil mensuração e/ou conflituosos e incertezas-chave.

Para Franco *et al.* (2004), os métodos de estruturação de problemas (do inglês *Problem Structuring Methods* ou PSM, como é conhecido) são uma família de métodos de apoio a decisão que ajudam os grupos de composições diversas a concordar com um determinado problema em foco e a se comprometer com uma ação conseqüente. A característica desses métodos é o uso de um modelo para representar versões alternativas da situação complexa de interesse comum, combinado com facilitadores que ajudem os membros do grupo a fazer ajustes mútuos construtivos.

Os PSMs são mais comumente usados como uma base para a identificação ou resolução de assuntos estratégicos específicos dentro ou entre organizações. Para Rosenhead e Mingers (2004), o que cada PSM oferece é uma maneira de representar a situação (isto é, um modelo ou modelos) que irá habilitar os participantes do grupo a entenderem melhor os seus problemas, convergirem para um problema mútuo potencialmente litigável ou assuntos dentro do contexto, e entrarem em acordo com compromissos que solucionarão pelo menos parcialmente o problema. Para conseguir isso, o PSM deve:

- permitir que várias perspectivas de alternativas sejam trazidas para a análise em conjunto;
- ser cognitivamente acessível para os atores com uma visão dos cenários e sem treinamento de especialista, de forma que a representação do desenvolvimento possa informar um processo participativo de estruturação do problema;
- operar iterativamente, de forma que a representação do problema seja ajustada para refletir o estado e a fase de discussão entre os atores, e vice-versa;
- permitir que as melhorias parciais ou locais sejam identificadas e comprometidas, ao invés de requerer uma solução global, que implicaria uma fusão dos vários interesses.

A conseqüência de tais exigências é que PSMs, embora sofisticados do modo como são conceitualizados e interagem no processo de decisão contínua, são relativamente rudimentares em relação ao aparato matemático ou estatístico. Em vários casos, eles fazem, entretanto, o emprego de *software* para apoiar o processo de escolha (MINGERS; ROSENHEAD, 2004).

De acordo com Rosenhead e Mingers (2004), primeiramente, o significado de representar a estrutura do problema precisa ser facilmente compreendido pelo grupo. A

complexidade da situação do problema é o que faz o uso dos métodos de estruturação valiosos. A questão é como representar essa complexidade de uma maneira que não exclua nenhuma camada envolvida. Para esses autores, certamente muita matemática pode tornar a análise de difícil compreensão para a maioria dos participantes, e é provável que promova uma sensação de que o conhecimento elicitado está sendo manipulado.

A fim de evitar tais problemas, eles sugerem então o uso de métodos gráficos. Os diagramas podem mostrar em termos espaciais a rede de influências intrigantes. Representações da considerável complexidade podem ser visualizadas com facilidade. Até mesmo aqueles sem noção prévia das notações são frequentemente capazes de compreender prontamente a linguagem, de modo que até possam, em pouco tempo de uso, dar sugestões de modificações para o modelo diagramático. O propósito dessas representações não é permitir que o consultor encontre a solução, mas habilitar o grupo a engajar suas experiências e julgamentos de uma maneira mais eficiente.

De acordo com Eden e Ackermann (2006), durante as últimas duas décadas, três métodos de estruturação de problemas têm se tornado particularmente conhecidos: *Soft Systems Methodology* (SSM), *Strategic Choice Approach* (SCA) e *Strategic Options Development and Analysis* (SODA). Segundo esses autores, tais métodos vão além da estruturação do problema. Eles procuram facilitar os acordos para agir. No SSM, existe uma ênfase na implementação de mudanças possíveis e desejáveis; no SCA, existe um foco explícito na tomada de decisão e nos “pacotes de compromisso”; no SODA, o processo de mapas cognitivos está focado na orientação das ações, no alcance de acordos, e em assuntos de implementação e administração de projetos.

Esses métodos podem ser e têm sido projetados para uso em situações particulares. E até mesmo aqueles métodos que têm alcançado um peso considerável de aplicações são comumente empregados com variantes criativas que levam em consideração as circunstâncias locais.

A seguir são descritos alguns dos principais métodos de estruturação de problemas, brevemente resumidos:

2.2.1 SSM – *Soft Systems Methodology*

Esta metodologia de sistemas suaves é também conhecida como um sistema de aprendizagem. Tal aprendizagem diz respeito à complexa problemática da situação humana, e conduz a encontrar ações que se acomodem ao problema com o propósito de melhoria da situação, as quais pareçam sensíveis ao problema em apreço. O SSM articula o processo de questionamentos que conduz às ações, mas que não finaliza nesse ponto, ao menos que se

escolha executá-las. Essas ações mudam a situação do problema. Conseqüentemente, os questionamentos podem continuar. Novas idéias são levantadas e o aprendizado, em princípio, nunca acaba. Esse processo de aprendizado ou círculo pode ser entendido como uma seqüência de estágios, conforme mostra a Figura 2.7.

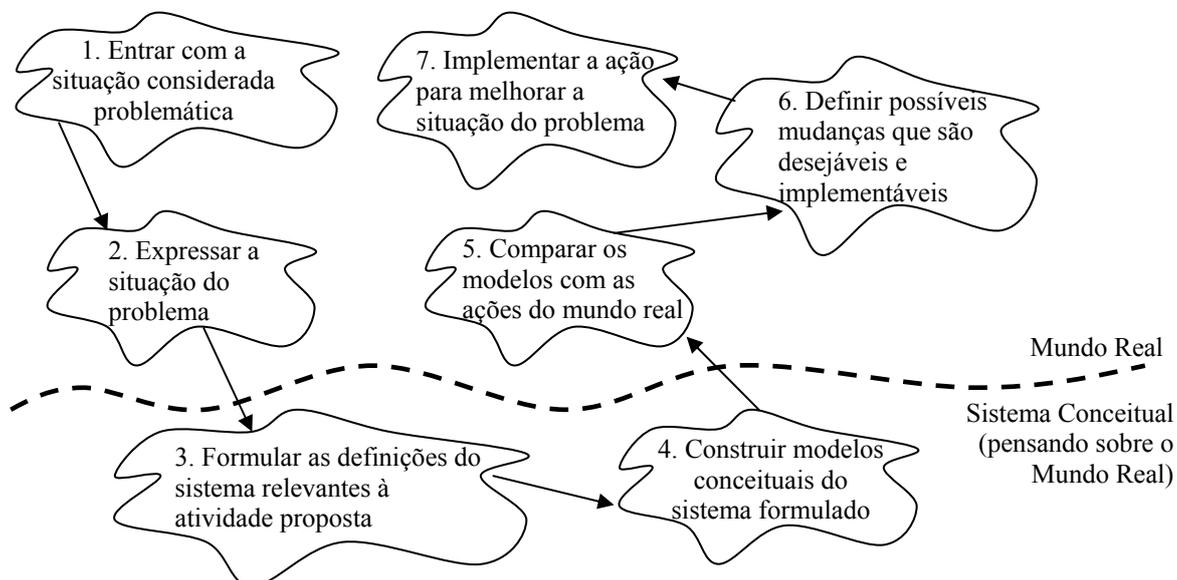


Figura 2.7 – Representação dos sete estágios do SSM
Fonte: CHECKLAND, 2004

De modo geral, os participantes constroem modelos conceituais do tipo ideal, para cada ponto de vista relevante do problema do mundo real. Eles os comparam com as percepções do sistema existente para gerar o debate sobre quais mudanças são culturalmente possíveis e sistematicamente desejáveis (CHECKLAND, 2004).

2.2.2 SCA – Strategic Choice Approach

Esta abordagem de escolha estratégica é um planejamento centrado na administração das incertezas em situações estratégicas. Facilitadores ajudam os participantes a modelar as interconexões das áreas de decisão. Comparações interativas dos esquemas alternativos de decisão ajudam a trazer as incertezas-chave à tona. Baseado nisso, o grupo identifica as áreas de prioridade de compromisso parcial e projeta explorações e planos de contingência.

De acordo com Friend (2004), a Figura 2.8 apresenta uma visão mais dinâmica de qualquer processo de escolha estratégica, a qual proverá uma estrutura onde se introduz um conjunto simples, contudo apropriado, de conceitos e técnicas. Tal estrutura se distingue por quatro modos complementares de tomada de decisão, definidos a seguir:

- *Shaping mode* (modelando): neste modo, os decisores estão preocupados quanto ao conjunto de problemas de decisão que eles enfrentam. Debatem sobre quais formas de

escolhas devem ser formuladas, e como as decisões devem ser conectadas. Eles consideram se o enfoque do problema deve ser aumentado ou, ao contrário, se a rede complexa de problemas relacionados deve ser dividida em partes mais manejáveis.

- *Designing mode* (projetando): neste modo, os decisores estão preocupados a respeito de quais cursos de ação são viáveis em relação ao problema moldado. Debatem se há ações suficientes à vista, ou se há restrições de projeto, tanto de natureza técnica como política, que poderiam restringir o escopo por combinar opções de áreas conectadas a escolhas de formas particulares.

- *Comparing mode* (comparando): neste modo, os decisores estão preocupados quanto às formas nas quais as implicações dos diferentes cursos de ação devem ser comparadas. Eles consideram uma variedade de diferentes critérios e debatem de que forma as avaliações devem ser feitas. É nesse modo que as incertezas são tratadas/focadas, mesmo que algumas já tenham emergido anteriormente.

- *Choosing mode* (escolhendo): neste modo, os decisores estão focados em como concordar com o compromisso das ações com o passar do tempo. Eles não só consideram se há algumas ações de compromisso que poderiam ser empreendidas imediatamente, como também de que maneira o futuro processo poderia ser administrado. A dimensão do tempo torna-se crítica e estratégias para administrar incerteza através do tempo devem ser exploradas.

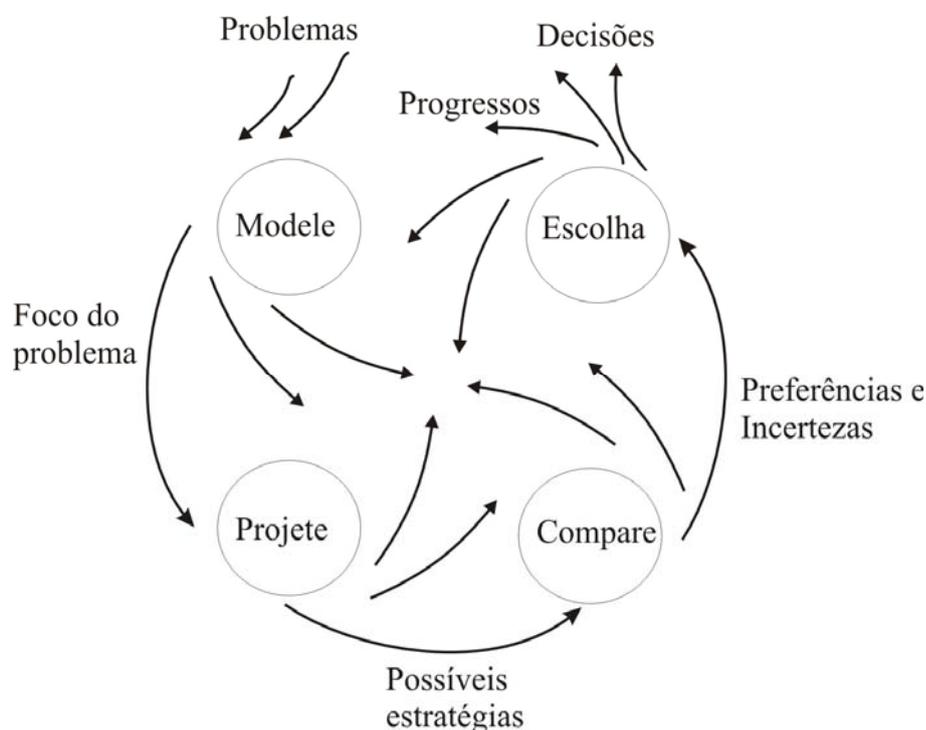


Figura 2.8 – A dinâmica da escolha estratégica
Fonte: FRIEND, 2004

2.2.3 SODA – *Strategic Options Development and Analysis*

Este método de análise e desenvolvimento de opções estratégicas é um método de identificação do problema geral, o qual usa mapas cognitivos como dispositivo de modelagem para elicitare e guardar os pontos de vistas dos indivíduos sobre a situação do problema. Os mapas cognitivos individuais são agregados (ou um mapa em comum é desenvolvido dentro de uma sessão de *workshop*) para dar estrutura às discussões do grupo, e um facilitador guia os participantes em direção a um *portfolio* de ações de compromisso (EDEN (1987) *apud* EDEN; ACKERMANN, 2004).

Além desses métodos de estruturação de problemas, existem outros, tais como *Robustness Analysis* (ROSENHEAD, 2004) e *Drama Theory* (MINGERS; ROSENHEAD, 2004).

2.3 Apoio a decisão multicritério

A tomada de decisões para solucionar problemas é uma atividade corriqueira e bastante complexa, que envolve possíveis alternativas de ação, pontos de vista e formas específicas de avaliação, ou seja, considera múltiplos critérios geralmente conflituosos entre si.

O primeiro fato a ser notado nesse tipo de problema é que não existe, normalmente, nenhuma decisão, solução ou ação que seja a melhor, simultaneamente, para todos os critérios. Como diz Zeleney (1982), a tomada de decisão pode ser definida de forma simples, como um esforço para resolver o dilema dos critérios conflituosos, cuja presença impede a existência da “solução ótima” e conduz à procura da “solução de melhor compromisso”. Daí a grande importância dos métodos multicritério como instrumento de apoio à tomada de decisões.

O apoio multicritério a decisão oferece ao decisor algumas ferramentas capazes de torná-lo apto a resolver problemas levando em consideração os mais diversos pontos de vista, muitas vezes contraditórios (VINCKE, 1992).

Para Campello de Souza (2002), uma boa decisão deve ser uma consequência lógica daquilo que se quer (preferências que se tem pelas várias consequências das decisões, as quais podem ser incertas ou distribuídas no tempo), daquilo que se sabe (informação que se traz ao processo de decisão) e daquilo que se pode fazer (alternativas disponíveis de ação).

A seguir são apresentados alguns conceitos básicos em relação ao apoio multicritério a decisão, descrevendo as problemáticas de referência, a modelagem de preferências e alguns métodos multicritério utilizados no trabalho.

2.3.1 Problemáticas de decisão

Para que a atividade de apoio a decisão possa fornecer um suporte adequado ao problema do decisor, no sentido de defini-lo ou representá-lo de forma mais clara, é necessária a percepção correta de como os envolvidos no processo decisório desejam estruturar o problema, ou seja, torna-se fundamental identificar qual é a problemática da decisão que está em causa. Roy (1996) define problemática de decisão como sendo a concepção do analista de decisão com relação à forma de abordagem do problema.

O modelo de decisão multicritério, de acordo com Vincke (1992), é definido por meio de um conjunto de ações A e de uma família de critérios F , no qual se deseja:

- determinar um subconjunto de ações, A' , tão pequeno quanto possível, que contenha as ações consideradas “mais satisfatórias” em relação a F - Problemática de Escolha ($P\alpha$);
- dividir A em subconjuntos de acordo com algumas normas, ou seja, realizar uma triagem resultante da alocação de cada ação a uma categoria, em que as ações são agrupadas em classes baseadas em propriedades comuns - Problemática de Classificação ($P\beta$);
- ordenar as ações do conjunto A da melhor para a pior, com base no modelo de preferências - Problemática de Ordenação ($P\gamma$).

Além disso, os problemas reais podem ser, na verdade, uma mistura de escolha, classificação e ordenação, ou apenas uma descrição dos mesmos - Problemática de Descrição ($P\delta$).

2.3.2 Modelagem de preferências

⇒ Sistema de relações de preferências

A modelagem da estrutura de preferências mostra ser um dos aspectos mais importantes da Decisão Multicritério (VINCKE, 1992; ROY, 1996; GOMES *et al.*, 2002). No estudo da estrutura de preferência do decisor, um dos principais e mais importantes passos é quando ele é levado a comparar duas ações (a, b) de um determinado conjunto de ações, devendo reagir a um dos três caminhos: (i) preferência por uma das duas ações; (ii) indiferença em relação às ações; (iii) recusa-se ou mostra-se inabilitado a compará-las. Roy (1996) vai mais além e define que, quando o decisor se confronta com a necessidade de definição de suas preferências entre duas alternativas a e b de um conjunto A de ações, são identificadas as seguintes situações básicas: Indiferença (I), Preferência Estrita (P), Preferência Fraca (Q) e Incomparabilidade (R^3). Pode-se dizer que essas quatro relações binárias formam o Sistema Básico de Relações de Preferências, apresentada na Tabela 2.3.

³ Roy (1996) utiliza o símbolo R para a situação de Incomparabilidade.

Tabela 2.3 – As quatro situações básicas de preferências

Situação	Definição	Relações binárias (Propriedades)
Indiferença	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a equivalência entre duas ações.	I: reflexiva e simétrica
Preferência Estrita	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma (bem identificada) das duas ações.	P: assimétrica
Preferência Fraca	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que invalidem a preferência estrita em favor de uma (bem identificada) das duas ações, mas essas razões são insuficientes para se deduzir uma preferência estrita em favor da outra ou uma indiferença entre essas duas ações; portanto, não é possível diferenciar nenhuma das duas situações precedentes.	Q: assimétrica
Incomparabilidade	Corresponde à ausência de razões claras e positivas para justificar qualquer uma das três situações precedentes.	R: simétrica

Fonte: ROY, 1996

Segundo Roy (1996), existem outras situações que são caracterizadas por agrupamentos ou combinações das relações básicas e são conhecidas como situações consolidadas de preferências, no qual é acrescentado ao Sistema Básico cinco relações binárias (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 – Relações consolidadas para a modelagem de preferências

Situação	Definição	Relações binárias (Propriedades)
Não-preferência ~	Corresponde a uma ausência de situações claras e objetivas para justificar a preferência estrita ou fraca em favor de uma das ações e, portanto, consolida as situações de indiferença ou de incomparabilidade sem ser capaz de diferenciá-las.	$\sim \Rightarrow aIb$ ou aRb
Preferência <	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.	$< \Rightarrow aPb$ ou aQb
J – Preferência (Presunção de preferência)	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a preferência fraca, sem se preocupar quanto 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.	$J \Rightarrow aQb$ ou aIb
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.	$K \Rightarrow aPb$ ou aRb
Sobreclassificação (Outranking)	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.	$S \Rightarrow aPb$ ou aQb ou aIb

Fonte: ROY, 1996

⇒ Estrutura de preferências

Vincke (1992) apresenta as formas de estruturas de preferência, baseadas na aceitação ou não da incomparabilidade, mediante as quatro relações de preferências básicas. São apresentadas, na Tabela 2.5, as estruturas de preferências mais comuns que não aceitam a incomparabilidade entre as ações, ou seja, a relação R é vazia.

Tabela 2.5 - Estruturas de preferências básicas sem incomparabilidade

Estrutura	Representação Funcional (g definida em A, $\forall a, b \in A$)	Propriedades das Relações	Observações
Pré-ordem completa	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b)$ $a I b \Leftrightarrow g(a) = g(b)$	P: Transitiva e Assimétrica; I: Reflexiva, Simétrica e Transitiva; R=0; Ausência de Incomparabilidade.	Noção intuitiva de classificação, com possibilidade de empate por similaridade.
Ordem completa	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b)$	P: Transitiva e Assimétrica; I: Reflexiva, Simétrica e Transitiva; R = 0.	Noção intuitiva de classificação, sem possibilidade de empate por similaridade.
Semi-ordem	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q$ $a I b \Leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q$ q= limiar de indiferença	P: Transitiva e Assimétrica; I: Reflexiva e Simétrica ; R = 0.	Existência de um limiar abaixo do qual o decisor não consegue explicitar a diferença, ou se recusa a declarar a preferência.
Ordem de intervalo (limiar de indiferença variável)	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b))$ $g(a) \leq g(b) + q(g(b))$, $a I b \Leftrightarrow g(b) \leq g(a) + q(g(a))$	P: Transitiva e Assimétrica; I: Reflexiva e Simétrica ; R = 0. $aPb, bIc, cPd \Rightarrow aPd$	Limiar que varia ao longo da escala de valores.
Pseudo-ordem	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + p(g(b))$ $a Q b \Leftrightarrow q < g(a) - g(b) \leq p(g(b))$ $a I b \Leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q$	P e Q: Transitiva e Assimétrica; I: Reflexiva e Simétrica; R = 0.	Limiar de indiferença (q): abaixo do qual é clara a indiferença Limiar de Preferência (p): acima do qual não há dúvida quanto à preferência.

Fonte: VINCKE, 1992

O outro grupo de estruturas de preferência que permite a incomparabilidade são as chamadas estruturas parciais de preferência. Segundo Vincke (1992), a consideração de ausência de incomparabilidade não é muito realista, uma vez que em muitas situações os decisores não desejam expressar suas preferências ou se sentem incapazes para fazê-lo. A incomparabilidade aparece mais frequentemente quando opiniões contraditórias devem ser agregadas.

As estruturas parciais de preferência que aceitam incomparabilidade estão representadas na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Estruturas básicas de preferências com incomparabilidade

Estrutura	Representação Funcional (g definida em A, $\forall a, b \in A$)	Propriedades das Relações	Observações
Pré-ordem parcial	$aPb \Rightarrow g(a) > g(b)$ $aIb \Rightarrow g(a) = g(b)$	P: Assimétrica e transitiva; I: Simétrica, transitiva e reflexiva; R: Simétrica e não-reflexiva.	Noção intuitiva de classificação, com possibilidade de empate por similaridade. R≠0
Ordem parcial	$aPb \Rightarrow g(a) > g(b)$	P: Assimétrica e transitiva; I: Simétrica, transitiva e reflexiva; R: Simétrica e não-reflexiva.	Noção intuitiva de classificação, sem possibilidade de empate por similaridade. R≠0

Fonte: VINCKE, 1992

2.3.3 Conceitos básicos de apoio multicritério a decisão

⇒ Atores do Processo Decisório

Pode-se considerar como ator de um processo decisório um indivíduo ou um grupo de pessoas que, por meio de seus sistemas de valores, influencia direta ou indiretamente na decisão. Porém, nesse processo, cada ator fica sujeito à influência dos sistemas de valores dos demais atores e, ou também, do próprio ambiente onde todos estão inseridos e com o qual ele interage. Segundo Roy (1996), dentre os atores, podem-se identificar:

- **Decisores**

Aqueles indivíduos/instituições que têm poder institucional para ratificar uma decisão. São eles que estabelecem os limites do problema, especificam os objetivos a serem alcançados e emitem julgamentos. Sobre eles normalmente recairia a responsabilidade legal/moral pela escolha. As decisões raramente são tomadas por apenas uma pessoa. Mesmo que a responsabilidade da decisão seja dada apenas a uma pessoa bem identificada, ela é em muitas ocasiões o produto da interação das preferências individuais do todo (ROY, 1996).

Em muitas situações, principalmente nas questões referentes à administração pública, não existem decisores óbvios, tampouco processos de decisão totalmente claros. O decisor aparece, então, como um coletivo entre os atores que, por terem um objetivo comum, farão com que a atividade de apoio a decisão se desenvolva direcionada para seus interesses.

- **Analista de decisão**

Os analistas são os encarregados da "modelagem do processo decisório", os especialistas (homens de estudo/cientistas). O sucesso do analista depende de como ele usa os recursos que lhe são alocados para construir o modelo, refinar a formulação do problema, verificar os dados e escolher uma aproximação inicial. O seu papel é explicar, justificar e recomendar, no entanto, de forma independente do seu próprio sistema de valor.

Existem também os "grupos de pressão" ou *stakeholders*, na terminologia adotada por Roy (1996), que, mesmo não tendo responsabilidade formal pela escolha, conseguem, muitas vezes, por sua ação, participar ativamente do processo decisório. Além desses, existe o grupo dos terceiros, que são aqueles grupos que não participam ativamente do processo de decisão, mas são afetados pelas conseqüências, e suas preferências precisam ser consideradas durante o processo de decisão.

⇒ Critérios

Vincke (1992) caracteriza um critério como uma função g , definida em um conjunto A , que atribui valores que ordenam um conjunto, e que representam as preferências do decisor

sob determinado ponto de vista. Dessa forma, pode-se pensar ou descrever o resultado da comparação entre duas ações a e b a partir de dois números $g(a)$ e $g(b)$. Segundo esse mesmo autor, os critérios são classificados de acordo com a estrutura de preferência verificada, conforme a Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Propriedades dos critérios

Critério	Estrutura de preferência	Observações
Critério verdadeiro	Pré-ordem completa (Modelo tradicional)	Qualquer diferença implica uma preferência estrita.
Critério de semi-ordem	Semi-ordem (Modelo de limiar)	Existe uma zona de indecisão constante, entre a indiferença e a preferência estrita.
Critério de intervalo	Ordem de intervalo (Modelo limiar variável)	Existe uma zona de indecisão variável ao longo da escala, entre a indiferença e a preferência estrita.
Pseudo-critério	Pseudo-ordem (Modelo limiar duplo)	Evita-se a passagem repentina da indiferença à preferência estrita, existindo uma zona de hesitação, representada pela preferência fraca.

Fonte: VINCKE, 1992

O critério pode ser entendido como um ponto de vista ou eixo de significância de um determinado problema. Por exemplo, o critério “danos ambientais” pode agrupar as dimensões de impacto sobre a qualidade das águas, sua escassez, flora, fauna, etc.

A performance da ação a de acordo com o critério j é escrita $g_j(a)$.

Vincke (1992) sustenta que a parte mais delicada da formulação de um problema de decisão se refere à representação dos diferentes pontos de vista (aspectos, fatores, características), com a ajuda de uma família de critérios $F = \{g_1, \dots, g_2, \dots, g_n\}$. Admite-se que uma decisão será o resultado de um compromisso entre os múltiplos e conflituosos critérios, muito embora diferentes atores possam ter diferentes visões de tal compromisso.

⇒ Relação de Dominância

Segundo Vincke (1992), a definição de relação de dominância pode ser entendida como sendo: dados dois elementos a e b do conjunto A , a domina b (aDb) se, e somente se:

$$g_j(a) \geq g_j(b), \quad j = 1, 2, \dots, n, \text{ em que ao menos uma das desigualdades é estrita.}$$

Observa-se que a relação de dominância é uma ordem parcial estrita, sendo uma relação assimétrica e transitiva. Se a domina b , a é superior a b sob todos os critérios considerados.

⇒ Ação Eficiente

Vincke (1992) diz que a ação a é eficiente se, e somente se, nenhuma ação de A é superior a a , ou seja, nenhuma outra ação domina a . O conjunto de ações eficientes é geralmente considerado como o conjunto de ações interessantes, mesmo que haja boas razões para não rejeitar definitivamente ações não-eficientes.

2.3.4 Métodos multicritério

Roy (1985) classifica os métodos de decisão multicritério em três grandes abordagens, relativas aos princípios de modelagem de preferências:

⇒ Enfoque no critério único de síntese, sem a possibilidade de incomparabilidade

É caracterizada como Escola Americana e consiste na agregação dos diferentes critérios em uma única função de síntese que poderá ser maximizada ou otimizada. O procedimento nessa família consiste em estudar as condições matemáticas de agregação, as formas particulares da função da agregação e a construção do método. Em outras palavras, quando o decisor é indagado a respeito de suas preferências, ele responde de forma coerente com alguma função U não-conhecida. Cabe ao analista estimar tal função por meio de questionamentos ao decisor. Nessa família, destaca-se a Teoria da Utilidade Multiatributo (*Multiple Attribute Utility Theory – MAUT*).

⇒ Enfoque na síntese de sobreclassificação, aceitando a incomparabilidade

Essa família de métodos é de inspiração francesa, também conhecida como da Escola européia. Consiste primeiramente em construir uma relação de sobreclassificação que representa as preferências fortemente estabelecidas do decisor. O segundo passo consistiria em explorar essas relações a fim de ajudar o decisor a resolver seu problema. Nessa família destacam-se os métodos *ELECTRE* e *PROMETHEE*.

⇒ Enfoque no julgamento interativo

São métodos de cálculos alternados, que rendem sucessivas soluções de compromisso e interações entre os cálculos, recebendo informações extras com relação às preferências do decisor. Embora eles sejam principalmente desenvolvidos para a armação de uma programação matemática com múltiplos objetivos, alguns desses métodos podem ser aplicados a casos mais gerais.

Este trabalho concentra-se na abordagem de Sobreclassificação, da escola européia, que busca desenvolver recomendações sobre a abordagem construtivista, a qual procura, no decorrer do processo junto com os atores, construir um modelo o mais formalizado possível que permitirá a evolução do processo de apoio a decisão, em concordância com os objetivos e o sistema de valores dos atores.

Para Vincke (1992), a idéia básica desses métodos consiste no enriquecimento das relações de dominância. Evitam-se, dessa forma, hipóteses matemáticas muito rígidas e questionamentos intrigantes ao decisor, exigidos pela teoria da utilidade multiatributo e que introduzem uma série de dificuldades na modelagem de problemas reais.

Roy (1985) define que a agregação multicritério sem critério único de síntese é a que se baseia no conceito da relação de sobreclassificação, ou *surclassement*⁴, segundo a terminologia original em francês. De acordo com Bana e Costa (1988), o princípio da abordagem de sobreclassificação é aquele expresso pelo axioma da comparabilidade parcial, segundo o qual três situações fundamentais de preferência podem ser encontradas no processo de modelização: Incomparabilidade (J), Preferência estrita (P) e Indiferença (I). Distinguem-se as duas últimas situações equivalentes da abordagem do critério único de síntese, por poderem ser não-transitivas as relações binárias correspondentes. Em certas circunstâncias, admite-se ainda a quarta situação, chamada de preferência fraca (Q), que leva em conta os casos de indecisão entre P e I, como foi visto anteriormente.

Essa família procura estabelecer comparações entre as alternativas, duas a duas, com o estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores. São métodos não-compensatórios que requerem uma informação intercritério correspondente à relativa importância entre os critérios. Assim, esses métodos favorecem as ações mais balanceadas, que possuem melhor performance média.

De acordo com Vincke (1992), vários métodos *outranking* são propostos para problemas nos quais o conjunto A de ações é finito, mas a filosofia geral desse método é obviamente aplicada a infinitos casos.

⇒ Método ELECTRE

O método ELECTRE foi proposto inicialmente por Benayoun, Roy e Sussman, em 1966. É de origem francesa e significa *Élimination Et Choix Traduisant la Réalité*, que quer dizer eliminação e escolha traduzindo a realidade (OLSON, 1996).

O intuito dos métodos da Família ELECTRE é obter um subconjunto de N alternativas, no qual essas sobreclassificam as que não entraram no subconjunto N . O procedimento é continuado até se obter um pequeno subconjunto, representado por alternativas de melhor compromisso com o problema (VINCKE, 1992).

Desse modo, o método ELECTRE tem como idéia principal eliminar subconjuntos de alternativas menos desejáveis e escolher alternativas mais preferíveis para a maioria dos

⁴ Essa palavra foi traduzida para o inglês como *outranking*. Em português, existem traduções diferenciadas, tais como: superação, subordinação, prevalência e sobreclassificação, sendo esta última a mais utilizada.

critérios. Para isso, são introduzidos os conceitos de Índice de Concordância – $C(a, b)$, Índice de Discordância – $D(a, b)$, Limiar de Concordância – p , Limiar de Discordância – q , e Relação de Sobreclassificação (VINCKE,1992; ROY,1996).

Segundo Roy (1996), esse método busca reduzir o tamanho do conjunto de alternativas potenciais, explorando o conceito de dominância. É ponto pacífico que o decisor é capaz de fornecer informações intercritérios, que refletem a importância relativa entre os k objetivos, ou seja, pesos dos critérios. Esses pesos podem ser decorrentes de cálculos técnicos ou de expressões de julgamento de valor.

As seguintes versões do ELECTRE são apresentadas por Roy (1996), cada uma aplicável a um caso diferente:

- ELECTRE I: procura selecionar um conjunto de alternativas dominantes, sendo indicado para problemáticas de escolha ($P. \alpha$);
- ELECTRE II: resulta num *ranking* das alternativas não-dominadas, sendo indicado para problemáticas de ordenação ($P. \gamma$);
- ELECTRE III: aplicável aos casos em que a família de pseudo-critério se verifica, sendo indicado para problemáticas de ordenação ($P. \gamma$);
- ELECTRE IV: é igualmente aplicável nos casos em que a família de pseudo-critério se verifica. Sua característica principal consiste na não-utilização de ponderação associada à importância relativa dos critérios, sendo indicado para problemáticas de ordenação ($P. \gamma$);
- ELECTRE IS: indicado para problemáticas de escolha ($P. \alpha$) e para a família de estrutura de pseudo-critério;
- ELECTRE TRI: aplicável aos casos da família de pseudo-critério, sendo indicado para problemáticas de classificação ($P. \beta$).

⇒ Método PROMETHEE

O método PROMETHEE significa *Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluation*, que quer dizer método de ordenação de preferência para o enriquecimento da avaliação. No seu processo de análise, decompõe o objetivo em critérios, e as comparações entre as alternativas são feitas no último nível de decomposição e aos pares, pelo estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores (VINCKE, 1992).

Segundo Brans e Mareschal (2002), para se construir a relação de sobreclassificação, são utilizados os conhecimentos de alguns conceitos:

- w_j é o peso do critério j , significa a importância que o critério tem em relação aos outros critérios.

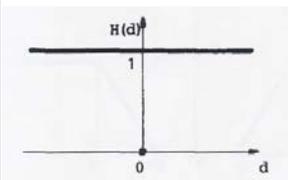
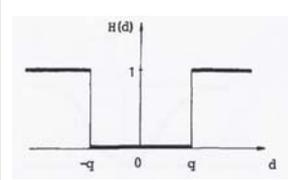
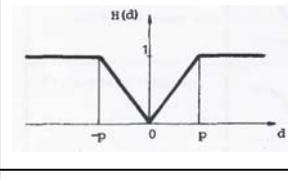
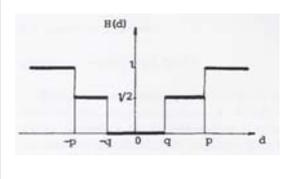
- $g_j(a)$ é o valor ou o desempenho da alternativa a no critério j .

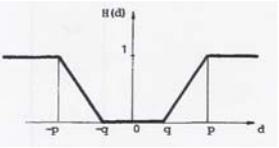
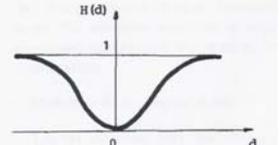
- q representa um limite de indiferença, o maior valor para $[g_j(a) - g_j(b)]$, abaixo do qual existe uma indiferença.

- p representa o limite de preferência, o menor valor para $[g_j(a) - g_j(b)]$, acima do qual existe uma preferência estrita.

- $F_j(a,b)$ é a função de preferência, valor que varia de 0 a 1 e representa o comportamento ou atitude do decisor frente às diferenças provenientes da comparação par a par entre as alternativas, para um dado critério, indicando a intensidade da preferência da diferença $g_j(a) - g_j(b)$ (BRANS; MARESCHAL, 2002). Comumente, são apresentadas seis formas mais utilizadas, conforme Tabela 2.8:

Tabela 2.8 – Formas das funções de preferência

Critério (em que d é a diferença na performance $(g_j(a) - g_j(b))$)	Parâmetros
I Critério usual 	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d = 0 \\ 1 & \text{se } d \neq 0 \end{cases}$ Há uma indiferença entre a e b se e somente se $g(a) = g(b)$ Qualquer diferença entre a avaliação das alternativas implica uma preferência estrita.
II Quase- critério 	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } -q \leq d \leq q \\ 1 & \text{se } d < -q \text{ ou } d > q \end{cases}$ Duas alternativas são indiferentes enquanto a diferença entre as avaliações (d) não ultrapassar o limiar de indiferença. Acima desse limiar, a preferência é estrita.
III Critério de preferência linear 	$H(d) = \begin{cases} d/p & \text{se } -p \leq d \leq p \\ 1 & \text{se } d < -p \text{ ou } d > p \end{cases}$ A preferência do decisor cresce linearmente até que o limiar de preferência (p) seja atingido. Após esse limiar, a preferência é estrita.
IV Critério nível 	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d \leq q \\ 1/2 & \text{se } q < d \leq p \\ 1 & \text{se } d > p \end{cases}$ a e b são considerados como indiferentes até que a diferença (d) entre $g_j(a)$ e $g_j(b)$ não ultrapasse q_j ; entre q_j e p_j , o grau de preferência é fraco, e acima de p_j a preferência é estrita.

<p>V</p> <p>Critério de preferência linear com zona de indiferença</p>		$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d \leq q \\ (d - q)/(p - q) & \text{se } q < d \leq p \\ 1 & \text{se } p < d \end{cases}$ <p>a e b são considerados como indiferentes até que a diferença (d) entre $g_j(a)$ e $g_j(b)$ não ultrapasse q_j; acima desse limiar, o grau de preferência cresce linearmente com d_j até atingir uma preferência estrita a partir de p_j.</p>	<p>p, q</p>
<p>VI</p> <p>Gaussiana</p>		$H(d) = 1 - e^{-d^2 / 2\sigma^2}$ <p>O desvio-padrão (σ) deve ser fixado e a preferência aumenta segundo uma distribuição normal.</p>	<p>σ (desvio padrão)</p>

Fonte: BRANS *et al.*, 1986

- $\pi(a,b)$ é o grau de sobreclassificação de a em relação a b , também chamado de intensidade de preferência multicritério. É calculado por:

$$\pi(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j F_j(a,b) \quad \text{onde, } W = \sum_{j=1}^n w_j \tag{2.1}$$

- $\Phi^+(a)$ é chamado de fluxo de saída e representa a média de todos os graus de sobreclassificação de a , com respeito a todas as outras alternativas. Quanto maior $\Phi^+(a)$, melhor a alternativa. É dado pela expressão:

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(a,b)}{n-1} \tag{2.2}$$

- $\Phi^-(a)$ é chamado de fluxo de entrada, representa a média de todos os graus de sobreclassificação de todas as outras alternativas sobre a . Quanto menor $\Phi^-(a)$, melhor é a alternativa. É dado pela expressão:

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(b,a)}{n-1} \tag{2.3}$$

- $\Phi(a)$ é chamado de fluxo líquido de sobreclassificação e representa o balanço entre o poder e a fraqueza da alternativa. Quanto maior $\Phi(a)$, melhor a alternativa. É dado pela expressão:

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \tag{2.4}$$

Esse método foi proposto pela primeira vez em 1982 e desde então não deixou de ser objeto de desenvolvimento e adaptações complementares (BRANS *et al.*, 1986), tendo sido aplicado com sucesso em vários problemas de diferentes naturezas (CAVALCANTE; ALMEIDA, 2005; ALMEIDA; COSTA, 2002; ÜLENGIN *et al.*, 2001; RAJU; KUMAR, 1999). As seguintes implementações do PROMETHEE são descritas na literatura (BRANS; VINCKE, 1985; BRANS *et al.*, 1986; TALEB; MARESCHAL, 1995):

- PROMETHEE I – estabelece uma pré-ordem parcial entre as alternativas e é utilizado para a problemática de escolha;
- PROMETHEE II – 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 (preferência intervalar).
- 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 – nesta implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas com o PROMETHEE II, são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas; incorpora-se uma filosofia de otimização inteira.
- PROMETHEE VI – estabelece uma pré-ordem completa ou parcial e é utilizado para a problemática de escolha e ordenação. É destinado às situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério.
- PROMETHEE - GAIA - extensão dos resultados do PROMETHEE, por meio de um procedimento visual e interativo.

2.3.5 Informações intercritérios (ponderação dos critérios)

Os métodos não-compensatórios, Métodos *Outranking*, requerem uma informação intercritério correspondente à relativa importância entre os critérios, traduzida em números que são chamados de pesos (AL-KLOUB *et al.*, 1997). Segundo Vincke (1992), a interpretação dos pesos nem sempre é direta e depende fortemente do uso que deles é feito.

Segundo Xu *et al.* (2001), os pesos podem ser providos pelo decisor, baseado em alguma experiência prévia, ou, quando há informações insuficientes, algumas técnicas de decisão com informações parciais podem ser incorporadas à análise de decisão.

É importante notar que, muito frequentemente, o decisor quando é interrogado, espontaneamente premiará pesos aos critérios de uma forma essencialmente qualitativa e/ou imprecisa. Desse modo, em problemas de determinação de pesos, é claramente utópico esperar por uma precisão. É preferível considerar várias séries de pesos ou analisar um espaço de pesos possível (VINCKE, 1992).

Geralmente é difícil, para os atores envolvidos no processo decisório, prover números precisos para os pesos e outros parâmetros que devem ser avaliados em relação aos critérios, deixando, assim, um espaço para a existência de alguma imprecisão, contradição,

arbitrariedade e/ou falta de consenso relativo ao valor dos parâmetros usados nos métodos multicritério (MOUSSEAU *et al.*, 2003).

Os pesos dos critérios representam a sua importância relativa e permitem que as preferências dos atores e o seu impacto na posição das alternativas sejam expressos explicitamente. Esses pesos podem ser elicitados de várias formas, mas nenhum pode garantir um resultado mais acurado (MOSHKOVICH *et al.*, 1998). Isso resulta numa adicional fonte de incerteza, e ocorre uma considerável perda de informação quando os pesos dos critérios, obtidos a partir de múltiplos atores, são calculados pela média ou agregados para ser usados como um simples valor a fim de se chegar a um *ranking* final das alternativas.

De acordo com Hyde *et al.* (2004), a freqüente subjetividade, ambigüidade e natureza imprecisa das avaliações dos pesos dos critérios e performance das alternativas, revelam, em última instância, uma incerteza nos resultados da análise de decisão. O peso dos critérios é geralmente tratado como determinístico para a avaliação das alternativas; no entanto, nem sempre é fornecida ao decisor a informação da provável modificação no resultado se forem mudados os parâmetros introduzidos. Segundo Wolter e Mareschal (1995) *apud* Hyde *et al.* (2004), a incerteza desses parâmetros influencia o resultado e então deveria ser levada em consideração como parte do processo de tomada de decisão.

2.4 Comentários finais sobre este capítulo

Este capítulo apresentou os conceitos mais recorrentes na literatura atual sobre perdas em sistemas de abastecimento de água, destacando os tipos de perdas e as ações de gerenciamento e controle. Foi mostrado, essencialmente, que a tomada de decisão sobre onde agir para minimizar o problema é uma tarefa bastante complexa, que envolve múltiplos atores com diferentes perspectivas e várias ações potenciais para a solução, as quais devem ser analisadas em relação a critérios pré-estabelecidos.

Para o tratamento dessa dificuldade, outros conceitos foram explicitados relativos à estruturação do problema, o qual considera uma abordagem qualitativa da tomada de decisão, baseada na visão construtivista, em que os atores vão formalizando o modelo no decorrer do processo, considerando o aprendizado gerado entre eles. Tal abordagem mostra-se adequada quando se está lidando com problemas organizacionais, por facilitar a interação entre os decisores.

Posteriormente, foram apresentados os conceitos relativos ao apoio a decisão multicritério, destacando-se a relevância da sua utilização, a modelagem de preferências e os métodos multicritério.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os processos de manutenção de sistemas e gerenciamento de perdas são tratados de forma muito ampla na literatura. Vários foram os modelos de otimização e calibração de redes de distribuição encontrados, especialmente dedicados à redução de perdas por vazamentos (GERMANOPOULOS; JOWITT, 1989; JOWITT; XU, 1990, TUCCIARELLI *et al.* 1999, MARTÍNEZ *et al.* 1999, HERNÁNDEZ *et al.*, 1999). Artigos mais recentes tratam desses modelos incorporando novas variáveis e o abordam sob diferentes aspectos.

O que se percebe claramente é que há várias estratégias e ações em prol da preservação, necessárias em todos os âmbitos, desde a fonte até o consumidor. Os novos conceitos de gestão de recursos hídricos, os quais incluem o gerenciamento das perdas, entretanto, não estão difundidos e consolidados na sociedade. Observa-se claramente a falta de uma metodologia específica para a escolha das alternativas, com a finalidade de elaboração de um planejamento estratégico de ação, seja junto à comunidade técnica, que elabora os projetos, seja junto aos consumidores, seja junto aos administradores públicos ou políticos.

Para isso, este trabalho propõe a utilização da metodologia multicritério de apoio a decisão em grupo, atendendo a múltiplos decisores (atores envolvidos no processo) e seus respectivos interesses. Então, por um lado, o estudo aborda o problema de manutenção para a detecção e controle de perdas nos sistemas de abastecimento da forma como é visualizado na literatura, e por outro, como são realizadas as tomadas de decisão em grupo de uma forma geral.

Nesse sentido, este capítulo apresenta uma pesquisa bibliográfica associada a esse problema, tendo sido subdividido em quatro partes. Primeiramente, é apresentada uma revisão sobre perdas em sistemas de abastecimento de água, comentando os métodos de avaliação e controle, métodos de otimização de rede, ferramentas computacionais e métodos multicritério, verificando-se que a maior parte dos trabalhos utiliza a otimização monocritério para estabelecer as melhores condições de funcionamento da rede de distribuição. Posteriormente, é realizada uma análise sobre o apoio a decisão em grupo, refletindo a abordagem *soft* da pesquisa operacional, enfocando os métodos qualitativos, tais como *Brainstorm*, Método Delphi e mapas cognitivos, além de ser dado um destaque aos métodos de estruturação de problemas. Na terceira parte, são apresentados os modelos multicritério para decisão em grupo, refletindo a abordagem *hard* da pesquisa operacional, discutindo as várias formas de agregação das preferências. Na quarta parte é comentada a fronteira entre a abordagem *soft* e *hard* da pesquisa operacional. Por fim, apresentam-se algumas considerações finais.

3.1 Perdas em sistemas de abastecimento de água

Existem muitas maneiras de manter a integridade da infra-estrutura dos sistemas de abastecimento. Dentre elas podem-se citar: substituição programada, restauração durante os serviços de expansão das instalações, reformulação dos projetos e modernização, programação de manutenção preventiva, implantação de um avançado programa de recuperação e reposição. No entanto, uma das principais dificuldades encontradas pelas empresas é a falta de recursos para investir em manutenção periódica.

Hoogsteen (1999) diz que medidas como a manutenção da aplicação de revestimentos internos, limpeza da tubulação, substituição e reparos, substituição de válvulas e acessórios, aumentariam a eficiência operacional do sistema e a liquidez das empresas.

Em contrapartida, Venturini *et al.* (2001) comentam que, durante a realização da manutenção corretiva, as empresas se esquecem de contabilizar o tempo que permaneceram fora de serviço. Alertam sobre a necessidade de desenvolver novas técnicas que reduzam o tempo gasto com a manutenção, para diminuir o custo do serviço temporário e o custo global da reabilitação.

Segundo Venturini *et al.* (2001), é de fundamental importância para o sucesso do controle efetivo da deterioração que os decisores conheçam: a extensão, a severidade e a natureza da deterioração; avaliem alternativas que reduzam a taxa de deterioração e a substituição da seção deteriorada; realizem o desenvolvimento cuidadoso de um plano de reabilitação sistemática e tomem ciência das prováveis tendências de deterioração do sistema.

Quando as tubulações começarem a apresentar problemas no fornecimento de água, serão necessárias intervenções para a reabilitação hidráulica (caso o problema seja relacionado com o desempenho hidráulico) ou para a reabilitação estrutural (quando o problema está associado à deterioração das instalações e equipamentos). Dependendo do grau de deterioração do sistema de abastecimento, a solução é a aplicação das duas técnicas simultaneamente.

A seguir são apresentados alguns métodos encontrados na literatura sobre a avaliação e o controle das perdas, otimização de redes de distribuição para a redução dos vazamentos, ferramentas computacionais usadas e modelos de decisão multicritério para o gerenciamento das perdas.

3.1.1 Métodos de avaliação e controle das perdas

Hoogsteen (1999) diz que o estado de ineficiência de uma rede de distribuição ocorre quando a mesma não corresponde mais à missão para a qual foi projetada, ou seja, satisfazer

as necessidades de seus consumidores em termos de quantidade e qualidade de água aceitável, bem como, em termos de qualidade e preço dos serviços prestados. Num sistema de distribuição, as tubulações geralmente são as principais causas dos problemas de deficiência. As causas mais freqüentes citadas são:

- redução do diâmetro efetivo devido ao aumento das incrustações no interior das tubulações;
- excessiva flutuação da pressão ao longo do dia nos dispositivos de controle;
- deterioração da qualidade física, química e biológica da água distribuída devido à degradação da rede;
- altos índices de ruptura e reparos nas redes e adutoras impedindo a continuidade no abastecimento e a estanqueidade da sua estrutura, aumentando a perda física de água com o passar dos anos.

Venturini e Barbosa (2002) detectam que a inexistência de uma política de micromedição adequada é um dos fatores responsáveis pela ineficiência operacional e comercial dos sistemas de abastecimento de água.

Arreguín-Cortes e Ochoa-Alejo (1997), no estudo sobre a avaliação das perdas de água em redes de distribuição, relatam que a comparação de dados de macro e micromedidores é um dos métodos mais simples de avaliar perdas de uma rede de distribuição de água. Os autores propõem um método para determinar as perdas de água em redes de distribuição, ligações residenciais, conexões não-autorizadas e medidores residenciais. Esse método é baseado em amostragem de setores previamente definidos (residenciais, industriais, etc.) e em medições de vazamentos nas conexões, observação de usuários com baixo consumo mensal, verificação de medidores residenciais e medidas hidrométricas em distritos da cidade. Utilizando uma análise estocástica e o método das características para a resolução das equações, os autores propõem uma variação linear da curva pressão x vazamento. Porém, esse procedimento não distingue ou quantifica as perdas na rede ou nas conexões das casas, submedição de hidrômetro ou conexões sem autorização, nem identifica as causas e as áreas afetadas.

Lambert e Hirner (2000) constataram que o controle de pressão possibilita reduzir o volume perdido em vazamentos, economizando recursos de água e custos associados; reduzir a freqüência de arrebentamentos de tubulações e conseqüentes danos que têm reparos onerosos, minimizando também as interrupções de fornecimento e os perigos causados ao público usuário de ruas e estradas; prover um serviço com pressões mais estabilizadas ao consumidor, diminuindo a ocorrência de danos às instalações internas dos usuários até a caixa

d'água (tubulações, registros e bóias); e, reduzir os consumos relacionados com as altas pressões da rede.

Lambert e Hirner (2000) constataram que o efetivo controle de perdas físicas é feito por meio de quatro atividades complementares, a saber (Figura 3.1):

- Gerenciamento de pressão: procura minimizar os excessos das pressões do sistema e a faixa de duração de pressões máximas, enquanto assegura os padrões mínimos de serviço para os consumidores. Esses objetivos duais são atingidos pelo projeto específico de setorização dos sistemas de distribuição, pelo controle de bombeamento direto na rede (*boosters*) ou pela introdução de válvulas redutoras de pressão (VRPs).
- Controle ativo de vazamentos: opõe-se ao controle passivo, que é, basicamente, a atividade de reparar os vazamentos apenas quando se tornam visíveis. A metodologia mais utilizada no controle ativo de vazamentos é a pesquisa de vazamentos não-visíveis, realizada por meio da escuta do solo (por geofones mecânicos ou eletrônicos e correlacionadores). Essa atividade reduz o tempo de vazamento, ou seja, quanto maior for a frequência da pesquisa, maior será a taxa de vazão anual recuperada. Uma análise de custo-benefício pode definir a melhor frequência de pesquisa a ser realizada em cada área.
- Velocidade e qualidade dos reparos: desde o conhecimento da existência de um vazamento, o tempo gasto para sua efetiva localização e seu estancamento é um ponto-chave no gerenciamento das perdas físicas. Entretanto, é importante assegurar que o reparo seja bem realizado. Uma qualidade ruim do serviço irá fazer com que haja uma reincidência do vazamento horas ou dias após a repressurização da rede de distribuição.
- Gerenciamento da infra-estrutura: a prática das três atividades mencionadas anteriormente já traz melhorias à infra-estrutura. Portanto, a substituição de trechos de rede só deve ser realizada quando, após a realização das outras atividades, ainda se detectarem índices de perdas elevados na área, pois o custo da substituição é muito oneroso.

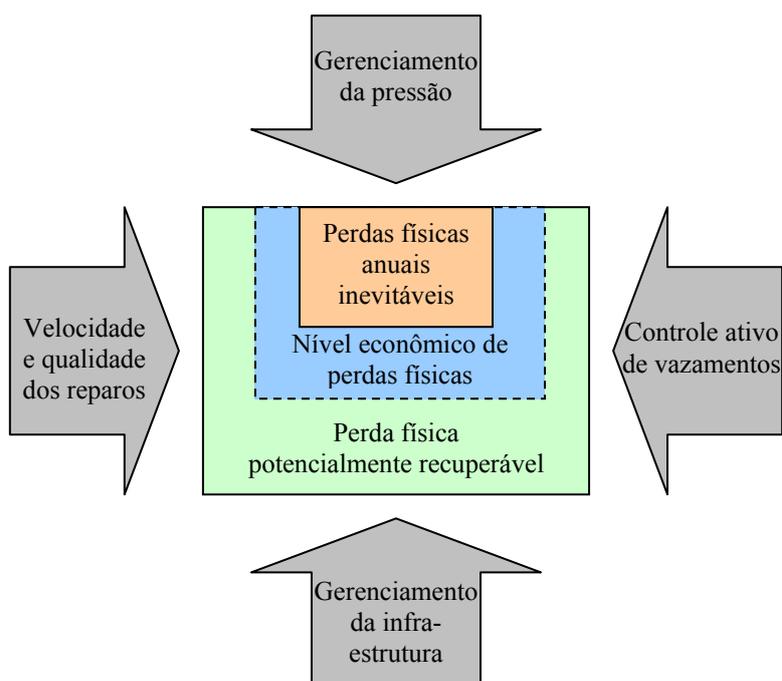


Figura 3.1 – Estratégia de controle de perdas de água
 Fonte: LAMBERT; HIRNER, 2000

3.1.2 Métodos de otimização de redes para a redução de perdas

A diminuição das perdas físicas de água com a redução das pressões de operação da rede de distribuição é uma técnica conhecida há muito tempo pelas companhias de saneamento e distribuição de água. Em 1980, foi publicado um extenso relatório sobre o Controle de Pressão, como parte da *National Leakage Initiative* – Inglaterra, o qual se tornou uma referência tradicional da relação entre pressão e volume de vazamento. Trata-se do *National Water Council Standing Committee Report nº 26, July 1980*. Em outubro de 1994, ele foi complementado pela publicação da WRC – *Water Research Center* denominada *Managing Water Pressure (Report G)*.

Partindo do princípio de que os vazamentos dependem das pressões nas redes de distribuição, vários foram os estudos desenvolvidos com métodos de programação para minimizar esse problema de forma pontual.

Germanopoulos e Jowitt (1989) desenvolveram uma metodologia que maximiza os benefícios da instalação e operação de válvulas para controle da pressão. A metodologia determina as localizações das válvulas de controle e conduz ao máximo possível de redução das pressões operacionais no sistema. A função que relaciona a pressão nos nós e a perda por vazamentos é incorporada às equações de continuidade dos nós, no sentido de se obter uma determinação real dos efeitos do controle da pressão sobre as perdas por vazamentos. O problema da minimização do excesso de pressão é formulado com uma função-objetivo linear

e um conjunto de restrições não-lineares, por causa da não-linearidade das equações de continuidade nos nós e na perda de carga nos condutos. O método da teoria linear é utilizado para a solução do problema não-linear de minimização do excesso de pressão até que sejam determinados o conjunto de aberturas ótimas das válvulas de controle de pressão e as correspondentes vazões da rede. Assim, benefícios, tais como reduções no desperdício de água e redução de rompimento de tubulações, são também identificados.

O modelo é formulado com base na equação da continuidade para cada nó:

$$\sum_{j \in J_i} Q_{ij} + C_i + 0,5 \sum_{j \in J_i} q_{ij} = 0 \quad (3.1)$$

em que Q_{ij} representa a vazão entre os nós i e j , C_i é a demanda de consumo no nó i , J_i são todos os nós conectados ao nó i e q_{ij} é o vazamento na tubulação entre os nós i e j , dado experimentalmente pela fórmula (GERMANOPOULOS; JOWITT, 1989):

$$q_{ij} = c_1 L_{ij} (P_{ij}^{av})^{1,18} \quad (3.2)$$

em que c_1 é uma constante que depende das características da rede, L_{ij} é o comprimento da tubulação entre os nós i e j e P_{ij}^{av} é a média entre as pressões no início e no final da tubulação. Assim, a equação anterior pode ser escrita diretamente em função das cargas nos nós e correspondentes cotas topográficas:

$$q_{ij} = c_1 L_{ij} [0,5(H_i - z_i + H_j - z_j)]^{1,18} \quad (3.3)$$

em que H_i é a carga hidráulica e z_i a cota topográfica do nó i , similarmente para o nó j .

A função-objetivo para a determinação das aberturas ótimas (V_k) consiste na minimização do somatório das diferenças entre as cargas hidráulicas calculadas (H_i) e as cargas hidráulicas requeridas (H_i^*) necessárias para atender à demanda, para I_d medidas, ou seja, número de pontos de controle:

$$\min_{V_k} \sum_{i \in I_d} (H_i - H_i^*) \quad (3.4)$$

Sujeito a:

- equações da continuidade nos nós (eq. (3.1));
- aberturas máximas e mínimas das válvulas:

$$V_k^{\min} \leq V_k \leq V_k^{\max} \quad (3.5)$$

- carga hidráulica mínima para os nós:

$$H_i \geq H_i^* \quad (3.6)$$

As variáveis desconhecidas são as cargas hidráulicas (H_i) e as aberturas das válvulas (V_k) incorporadas às redes. Os dados que devem ser inicialmente conhecidos são as cargas

hidráulicas nos nós ligados aos reservatórios, a localização e as aberturas máximas e mínimas das válvulas, as demandas e cotas topográficas dos nós, as características das tubulações da rede (comprimento, diâmetro e coeficiente de rugosidade), a carga hidráulica mínima para atender à demanda nos nós, e a relação pressão x vazamento da rede.

Jowitt e Xu (1990) também desenvolveram um modelo para o controle ótimo de válvulas para minimizar os vazamentos nas redes de distribuição de água, por meio de uma melhoria no algoritmo proposto por Germanoupoulos e Jowitt (1989). O algoritmo determina o ajuste da válvula para o controle do fluxo e minimização dos vazamentos diretamente, ao invés da minimização do excesso de pressões, como foi proposto anteriormente. As equações não-lineares da rede descrevem que as cargas nos nós e o fluxo nos tubos são aumentados por condições que explicitamente respondem por vazamento dependente da pressão e por condições que modelam o efeito de ações da válvula. Sucessivas linearizações dessas equações, usando o método da teoria linear, permitem minimizar os vazamentos. A função-objetivo proposta minimiza a soma das perdas por vazamentos e é dada por (em que R é o conjunto dos nós conectados pela tubulação ij):

$$\min_{V_k} \sum_{ij \in R} q_{ij} \quad (3.7)$$

Sujeito a:

- equações da continuidade nos nós (eq. (3.1));
- relação entre pressão e vazamentos (eq. (3.3));
- aberturas máximas e mínimas das válvulas (eq. (3.5));
- carga hidráulica mínima para os nós (eq. (3.6)).
- perda de carga e fluxo no trecho ij com uma válvula:

$$Q_{ij} = V_k R_{ij} \text{Sgn}(H_i - H_j) |H_i - H_j|^{0,54} \quad (3.8)$$

Sendo que $R_{ij} = \frac{\alpha CHW_{ij} D_{ij}^{2,63}}{L_{ij}^{0,54}}$, em que Q_{ij} o fluxo (l/s); D_{ij} o diâmetro do tubo (m); L_{ij} o

comprimento do tubo (m); H_i a carga hidráulica do nó i (m); CHW_{ij} o coeficiente de Hazen-Williams para tubos, conectando o nó i ao j ; α a constante cujo valor depende da unidade usada.

A minimização da equação 3.7 requer um volume de vazamentos q_{ij} que seja funcionalmente relacionado ao controle das válvulas (V_k), e que as restrições hidráulicas e qualquer outra sejam satisfeitas.

Vairavamoorthy e Lumbers (1998) também analisaram a aplicação de técnicas de otimização para identificar a maneira mais eficiente de reduzir perdas de água em sistemas de

abastecimento. Os autores desenvolveram um método de otimização baseado nos estudos anteriores de Germanopoulos e Jowitt (1989) e Jowitt e Xu (1990) para minimizar vazamentos mediante um controle ótimo das válvulas de redução de pressão. As duas funções-objetivo dos modelos anteriores foram consideradas e incorporadas ao modelo de otimização. As restrições às duas funções-objetivo são: a equação da continuidade para cada nó, incluindo a dependência pressão x vazamento, e as pressões e aberturas das válvulas máximas e mínimas. A diferença essencial está na metodologia utilizada, que envolve o uso da técnica de solução baseada em uma programação quadrática seqüencial. Segundo os autores, essa metodologia apresenta uma melhor convergência das propriedades se comparada com as aplicadas anteriormente (método de programação linear sucessiva).

Reis *et al.* (1997) estudaram a localização ótima de válvulas redutoras de pressão e seus ajustes, via algoritmos genéticos, a fim obter a máxima redução de vazamentos para uma determinada demanda e níveis de reservatório. Embutido nessa otimização está o problema de determinação de ajustes ótimos das válvulas de controle em termos de minimização de vazamento para uma determinada localização. Baseados nas múltiplas simulações de padrões de demanda, os autores acharam que o valor esperado de vazamento em uma rede provida com válvulas de controle localizadas em locais ótimos é praticamente independente da demanda total. Um estudo do efeito das variações de demanda indicou as combinações de localização ótima das válvulas para os diferentes padrões de demandas nos nós e para demandas totais diferentes.

Tucciarelli *et al.* (1999) também analisaram os vazamentos nas redes de distribuição por meio da regulação das válvulas de controle de pressão. Eles concluíram que a água perdida diariamente pela rede de distribuição, em muitas cidades, ultrapassa 40-50% do consumo de água diário total. A perda de água pode acontecer pela quebra total de um ou mais tubos, ou por pequenas fissuras e vazamentos localizados nas paredes de tubo e ao redor das junções do tubo. No primeiro caso, as perdas são facilmente localizadas, porque a quebra de um tubo implica a total perda de pressão nos nós e o volume do fluxo deixando o tubo, freqüentemente se espalha sobre a superfície da terra. No segundo caso, a perda da água é difundida numa área maior da rede e usualmente requer a substituição de partes inteiras da rede.

Segundo Tucciarelli *et al.* (1999), a maioria dos procedimentos de calibração de redes de abastecimento existentes é focada em problemas computacionais relacionados a algoritmos de otimização para cargas de distribuição e estimação de fatores de rugosidade. Pouca atenção vem sendo dada aos critérios usados para a aquisição de novos dados de campo para parâmetros de estimação, especialmente daqueles relacionados a perdas de água.

Greco e Giudice (1999) propuseram uma abordagem de calibração hidráulica da rede por meio de algoritmos de otimização não-linear, ajustando a rugosidade dos tubos até o resultado da simulação ser compatível com os valores observados no campo. Para achar os valores realísticos da rugosidade calibrada, a função-objetivo minimiza a soma dos quadrados das diferenças entre o calibrado e a rugosidade inicial estimada, sob um conjunto determinado de matrizes de sensibilidade. A maioria dos métodos não leva em consideração que os valores iniciais de rugosidade são estimativas determinadas de forma pouco precisa, a partir de tabelas de valores sugeridos em manuais de engenharia. Tipicamente, esse fato é negligenciado quando se está resolvendo um problema de calibração, que normalmente é afetado pela escassez de informação disponível.

Ulanicki *et al.* (2000) formularam e investigaram métodos para o planejamento e a implementação estratégica de controle *on-line* preditivo e retroalimentação para áreas com muitas válvulas de redução de pressão. Eles desenvolveram um algoritmo com a formulação de um típico problema de programação não-linear para o cálculo do perfil ótimo do ciclo de abertura das válvulas e ótima curva de pressão/fluxo para o controle da retroalimentação, levando em consideração o modelo de vazamentos.

Soares (2003) desenvolveu uma rotina computacional com vista à calibração de modelos de redes de abastecimento em termos de rugosidades absolutas, diâmetros, cotas topográficas, demandas e parâmetros do modelo de vazamentos. Além disso, estudou a localização de componentes hidráulicos, mediante o modelo baseado na minimização dos desvios entre os parâmetros (pressão e vazão) observados e aqueles obtidos pela rotina computacional produzida, utilizando-se o simulador hidráulico EPANET como módulo de avaliação auxiliar.

3.1.3 Ferramentas computacionais

Para Obradovic (2000), a modelagem matemática tem-se tornado uma indispensável ferramenta para o projeto de sistemas de distribuição de água, especialmente depois que computadores de altíssima capacidade e velocidade se tornaram acessíveis a todos. É uma ferramenta muito útil para a simulação do comportamento hidráulico de uma rede de distribuição, quando se pode trabalhar com um sistema de rede esboçado, introduzindo no modelo as tubulações principais. A prática de esboçar a rede requer certa experiência do usuário para não haver uma distorção com relação ao sistema real.

Carrijo *et al.* (2003) verificaram que o ponto-chave da boa utilização de modelos matemáticos é a sua calibração. A verificação para que o modelo espelhe o sistema real necessita da definição de quais e quantos pontos de medição de pressão e vazão são

necessários e suficientes para essa análise. A resolução do problema de calibração de modelos de redes de distribuição de água prevê as seguintes etapas: preparação dos dados de entrada do modelo, definição dos parâmetros dos modelos de otimização a serem determinados e dos parâmetros de avaliação hidráulica da rede, e aplicação do modelo de otimização.

Já existem diferentes modelos e *softwares* de modelagem matemática para o auxílio à análise hidráulica e da qualidade da água no mercado internacional (H2Onet - Montgomery Watson Inc.; WaterCad – *Haestad Methods Inc.*; EPANET – *Environmental Protection Agency* (EPA) (ROSSMAN, 2000); HIPERWATER (HERNÁNDEZ *et al.*, 1999)). Esses modelos auxiliam no dimensionamento e na escolha do sistema de controle de pressões (implantação de VRPs e *boosters*, novo reservatório, reforço de rede, etc.), pois permitem visualizar o comportamento da rede com suas variações de pressão em todos os pontos do sistema por períodos de 24 horas ou durante dias. Podem ainda ser usados posteriormente para simulações de condições operacionais excepcionais, decorrentes de necessidades de racionamento ou direcionamento da água para sua utilização num combate a um incêndio, por exemplo.

A maioria desses *softwares* tem fins comerciais, com exceção do EPANET que foi desenvolvido pela E.P.A. (*U. S. Environmental Protection Agency*), e é disponibilizado na Internet, sendo recomendado como o *software* ideal para um primeiro conhecimento da modelagem hidráulica e para fins acadêmicos. Segundo Rossman (2000), o EPANET é um programa que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição sob pressão; permite obter os valores de carga em cada tubo, da pressão em cada nó, da altura da água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos passos de cálculo. O EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, que melhora o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para o consumo humano. Esse *software* tem sido largamente utilizado entre os pesquisadores com a finalidade de ajudar na análise de estratégias alternativas de gestão.

Baseado no EPANET, Hernández *et al.* (1999) formularam um modelo de simulação hidráulica denominado HIPERWATER. O modelo busca atingir dois objetivos: minimização de perdas e melhoria no tempo de simulação. O modelo foi implantado por meio de computação de alta performance e de um modelo de perdas com um módulo paralelo de otimização visando à redução de perdas mediante o controle de pressão do sistema.

3.1.4 Alguns modelos multicritério para gestão de recursos hídricos

Na literatura pesquisada, o que se pode observar é que a maioria das soluções propostas para a redução de perdas são basicamente intuitivas e consideram a experiência dos técnicos responsáveis ou a conveniência com relação a aspectos políticos. A maior parte da literatura existente faz somente uma análise econômico-financeira, sem atentar para os aspectos subjetivos inerentes à escolha da alternativa de solução. Os periódicos com trabalhos elaborados nessa área tratam a questão de forma muito qualitativa e não atendem adequadamente à dificuldade da decisão na escolha ou ordenação das alternativas disponíveis para a solução do problema.

Morais e Almeida (2003), na tentativa de minimizar essas dificuldades, desenvolveram um estudo para a avaliação de investimentos associados à redução de perdas e desperdícios de água com o enfoque multicritério, abordando a problemática de escolha com o uso do método ELECTRE I. Posteriormente, o problema foi tratado baseado na problemática de ordenação, em que foram utilizados os métodos ELECTRE II e PROMETHEE II (MORAIS; ALMEIDA, 2005). Porém esses estudos consideraram apenas o ponto de vista de um decisor, o gerente da concessionária da água. Assim, diante da necessidade de incorporar outros pontos de vista a esse problema, tais como os aspectos ambientais, políticos e sociais, Moraes e Almeida (2006b) desenvolveram um modelo multicritério em grupo para o gerenciamento das perdas em sistemas de abastecimento de água, trabalho esse fruto desta tese.

No entanto, de uma forma geral, foram encontrados outros modelos que abordam o problema da gestão de recursos hídricos de uma forma bastante holística, utilizando modelos multicritério, devido ao fato de que decisões nessa área geralmente envolvem alternativas e critérios e frequentemente são caracterizadas por conseqüências incertas, interações complexas e participação de múltiplos *stakeholders* com interesses conflituosos.

Dessa forma, algumas abordagens formais que utilizam a metodologia de análise de decisão multicritério têm sido desenvolvidas para apoiar os decisores durante a análise de tal situação de tomada de decisão difícil (HYDE *et al.*, 2004; CHOI; PARK, 2001; KHEIRELDIN; FAHMY, 2001), por facilitar a participação de *stakeholders* e proporcionar uma tomada de decisão colaborativa, não requerendo uma avaliação de valor monetário para critérios ambientais e sociais, e permitindo a consideração de múltiplos critérios em unidades incomensuráveis, ou seja, a combinação de critérios quantitativos e qualitativos.

Abu-Taleb e Mareschal (1995) abordaram a questão da crise de água na Jordânia. Apesar de todos os problemas econômicos e restrições de disponibilidade de água que os decisores enfrentavam, havia uma grande variedade de opções para o planejamento dos

recursos hídricos do Oriente Médio. Os autores utilizaram o método multicritério PROMETHEE V para avaliar e selecionar as opções potenciais, de acordo com as limitações orçamentárias, para desenvolver o projeto da alternativa e os programas terem continuidade de maneira eficiente. Assuntos como proteção ambiental, demanda de água e gerenciamento do abastecimento podem ser explicitamente considerados usando-se o procedimento multicritério.

Zuffo (1998) propõe a incorporação de características ambientais, sociais, técnicas e econômicas, comumente utilizadas em estudos de planejamento ambiental de recursos hídricos, como critérios. Foram aplicadas cinco diferentes ferramentas de auxílio à tomada de decisão. São elas: ELECTRE II, PROMETHEE II, Programação por Compromisso (CP), Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT) e o método Analítico Hierárquico (AHP). Os métodos multicriteriais foram aplicados a quatro cenários distintos de pesos para os critérios, obtidos mediante consulta por questionário estruturado a especialistas. Somente o método ELECTRE II não apresentou resultados confiáveis. Considerou-se viável a inserção dos critérios adotados para os métodos multicriteriais, o que possibilitou melhorar o processo de escolha das alternativas.

Kangas *et al.* (2001) utilizaram métodos *outranking* (ELECTRE III e PROMETHEE II) como ferramentas no planejamento estratégico dos recursos naturais. Eles compararam esses métodos *outranking* com as técnicas baseadas nas idéias da teoria da utilidade multiatributo (MAUT – *Multi Attribute Utility Theory*). Os métodos *outranking* foram os mais recomendados para essas situações, nas quais existe um número finito de alternativas discretas para ser escolhidas dentre outras, podendo ser grande o número de critérios e decisores. Uma vantagem importante dos métodos *outranking* é sua habilidade de tratar com informação ordinal e descritiva nos planos alternativos a serem avaliados.

Morais e Almeida (2006a) utilizaram o ELECTRE I para o gerenciamento estratégico de uma companhia de água estadual selecionando os projetos de abastecimento de água mais adequados a serem implantados à luz dos critérios estabelecidos.

3.2 Apoio a decisão em grupo (abordagem soft)

Segundo Leyva-López e Fernández-González (2003), as pessoas fazem grupos de decisão (intra-organizacional ou interorganizacional) quando estão diante de um problema comum e estão todos interessados na sua solução.

Nas organizações, os conflitos para a tomada de decisão são inevitáveis pela própria natureza humana. Eles fazem parte da interação grupal. Segundo Gomes (1998), o

gerenciamento de conflitos em um grupo deve ser estimulado, já que ele gera novas regras para a organização, estimula a inovação, diminui as resistências à mudança e elimina a estagnação.

Uma importante característica de decisão em grupos é que, mesmo quando todos os indivíduos pertencem a uma mesma organização (família, empresa, governo), eles podem diferir na percepção do problema e podem ter interesses diferentes, mas eles são todos responsáveis pelo bem da organização e por parte da decisão implementada.

Quando uma situação de decisão envolve múltiplos atores, cada um com sistemas de valores e informações diferentes, a decisão final geralmente será o resultado de uma interação entre essas preferências individuais de cada um deles. Tal interação não está livre de conflitos que podem ser devidos a quaisquer fatores, por exemplo, convicções éticas ou ideológicas diferentes, objetivos específicos diferentes, ou regras diferentes dentro da organização. Qualquer que seja a origem dos conflitos de sistemas de valores, eles normalmente afetarão a evolução do processo de decisão de um modo que não foi esperado no início (ROY, 1996).

Segundo Kim e Ahn (1999), existem vários grupos de decisão que fazem cobertura a uma gama extensiva de situações. Dentre eles, destacam-se os que têm as seguintes características:

- Cada decisor do grupo participa do processo com informações sobre as suas preferências e convicções, enquanto contribui desse modo para a decisão final. Normalmente, há uma meta global que é aceita por todos os decisores, mas eles diferem nos modos de como essa meta deveria ser alcançada.
- Cada ator considera o mesmo conjunto de alternativas ou ações potenciais.
- Há múltiplos critérios que normalmente conflitam entre si. Cada ator tem de gerar critérios pertinentes que podem ser compartilhados (total ou parcialmente) por alguns, nenhum ou todos os decisores restantes.
- Há um ator especial (pode ser uma única pessoa, um grupo pequeno de *stakeholders*) com autoridade por estabelecer regras de consensos e informações de prioridade sobre o grupo de decisores. Chama-se (KEENEY; RAIFFA, 1976) essa entidade de Supradecisores (*Supra Decision Maker - SDM*).
- Os decisores do grupo aceitam a decisão final derivada de uma agregação das suas opiniões, de acordo com as regras e prioridades definidas pelo SDM.

Segundo Macharis *et al.* (1998), um GDSS (*Group Decision Support System*, traduzido em português como Sistema de Apoio a Decisão em Grupo) é um sistema interativo homem-máquina baseado em modelos computacionais desenvolvidos para apoiar um grupo de

decisores, que normalmente têm diferentes estruturas de preferências. O GDSS emprega um mecanismo de coordenação para descobrir as diferenças de preferência entre os decisores e prover informações para alcançar um consenso. Nesse tipo de procedimento, os decisores são colocados juntos em uma sala com um facilitador, cujo papel é conduzir o encontro, moderar diretamente as discussões entre os decisores e ajudar o grupo a obter uma decisão consensual adequada, tão eficiente quanto possível.

Uma clássica sala de GDSS contém R estações de decisão. Cada estação é designada para um único decisor, possivelmente acompanhado de um ou dois assistentes. Todas as estações são equipadas com um computador pessoal e possivelmente um fax e conexões telefônicas para permitir que os decisores permaneçam em contato com suas bases operacionais ou obtenham dados adicionais. Todas as estações individuais são conectadas ao computador do facilitador por meio de uma rede local. Retroprojetores, projetor de LCD, quadro branco e impressora também devem estar disponíveis ao facilitador para exibir informações ao grupo inteiro (MASCHARIS *et al.*, 1998).

Mascharis *et al.* (1998) ressaltam que o aspecto humano da tomada de decisão em grupo não pode ser substituído por um procedimento completamente computadorizado. Em algumas situações, o contato olho-no-olho pode ser decisivo. Ao invés de substituir os encontros tradicionais de decisão em grupo, os GDSS devem então ser considerados como um complemento, provendo o processo de decisão em grupo com informação adicional de modo a aumentar a eficiência da decisão.

No apoio a decisão em grupo, alguns métodos são freqüentemente utilizados para auxiliar no entendimento do problema que está em discussão. Dentre esses métodos, destacam-se o *Brainstorm*, *Delphi* e Mapas Cognitivos, brevemente descritos a seguir.

3.2.1 Métodos qualitativos de apoio a decisão (*Brainstorm*, Método *Delphi*, Mapas Cognitivos)

- *Brainstorm*

O método de *Brainstorm* (traduzido como tempestade de idéias) estimula a criatividade na resolução de problemas. Esse método surgiu antes da Segunda Guerra Mundial (MUCCHIELLI, 1981) e foi formulado por Alex Osborn (HWANG; LIN, 1987). O conceito por trás do *brainstorm* é que as pessoas têm mais idéias quando trabalham em grupo do que sozinhas.

De acordo com Gomes *et al.* (2002), é usado para auxiliar um grupo a imaginar/criar tantas idéias quanto possível em torno de um assunto ou problema, de forma criativa. Deve ser usado quando for necessário conhecer melhor o universo de uma situação, colher

informações, opiniões e sugestões dos participantes, identificando problemas existentes e encontrando soluções criativas para o problema identificado.

Segundo Hwang e Lin (1987), o *brainstorm* está baseado em dois princípios e quatro regras que devem ser entendidos e obedecidos pelos participantes para que funcione. O primeiro princípio é o da protelação de julgamento, por meio do qual a parte criativa da mente das pessoas é incentivada, gerando idéias, sem que haja necessidade de julgar se são boas ou não. Elas são julgadas posteriormente, apenas depois que todas as idéias do grupo tiverem sido apresentadas. O segundo princípio é o de que a quantidade gera qualidade, ou seja, quanto maior o número de idéias, maior a chance de uma delas contribuir para a solução do problema. As regras básicas são: (1) as críticas são eliminadas do processo, a fim de que não haja comentários sobre a qualidade das idéias; (2) os pensamentos sem restrições são bem-vindos, encorajando os participantes a dizerem qualquer idéia que lhes venha à mente; (3) o que se quer é quantidade, pois quanto maior o número de idéias, maior a chance de aparecer idéias boas; e, (4) combinação e melhoria das idéias dos outros, pois os participantes podem aproveitar idéias apresentadas pelos outros para criar outras diferentes ou aprimorar aquelas já apresentadas.

De acordo com Mucchielli (1981), a principal vantagem da utilização do *brainstorm* como técnica de resolução de problemas em grupo é a eliminação do espírito crítico que, muitas vezes, é inimigo da imaginação. No entanto, Hwang e Lin (1987) dizem que uma das principais desvantagens do *brainstorm* é que ele deve ser usado preferencialmente para resolver problemas simples. Isso acontece porque o procedimento não encoraja uma maior estruturação dos conceitos apresentados, visto que eles devem ser compactos, resumidos em poucas palavras, embora o processo de geração de idéias seja divergente e criativo. Caso o problema a ser analisado seja mais complexo, deve ser decomposto em vários problemas mais simples para que essa técnica seja aplicada de maneira mais adequada.

- Método Delphi

O método *Delphi*, de acordo com Hwang e Lin (1987), é uma modificação do *brainstorm*, com o objetivo de obter o consenso mais confiável possível em um grupo de especialistas. O método consiste, basicamente, em agrupar os julgamentos individuais a respeito de um determinado assunto por meio de um conjunto de questionários seqüenciais cuidadosamente elaborados, intercalados com a análise das respostas a esses questionários.

O primeiro questionário geralmente solicita às pessoas que respondam a uma questão abrangente. Cada questionário subsequente está baseado nas respostas do questionário anterior. O número de interações desse método varia de 3 a 5 (HWANG; LIN, 1987),

dependendo do grau de concordância das respostas dos especialistas e se a quantidade de informação obtida é suficiente para resolver o problema.

Para Hwang e Lin (1987), esse método apresenta como vantagens a preservação do anonimato das pessoas que respondem ao questionário; é possível envolver participantes espalhados em amplas áreas geográficas, pois não é necessário que as pessoas estejam reunidas fisicamente num mesmo lugar; é possível fazer uma recuperação posterior de todo o processo, devido ao fato de ser todo ele registrado graficamente; os participantes têm tempo para meditar sobre os questionários e buscar informações que permitam responder aos mesmos da forma que lhes pareça adequada; não existem pressões sociais que forcem as pessoas a abandonar suas idéias, pois não há inter-relações pessoais entre as pessoas que respondem aos questionários; mantém a atenção focada nos objetivos do problema, evitando dispersões que podem ocorrer em reuniões onde os participantes estão fisicamente presentes.

No entanto, são encontradas algumas desvantagens no método *Delphi*, tais como: alto consumo de tempo; não permite que haja clarificação verbal dos conceitos, o que é possível em métodos que permitem contatos face a face; as pessoas encarregadas em responder às questões podem não compreendê-las corretamente ou sentir dificuldades em se expressar por escrito (HWANG; LIN, 1987).

- Mapas Cognitivos

Segundo Gomes *et al.* (2002), a elaboração de um mapa cognitivo permite retratar idéias, sentimentos, valores e atitudes e seus inter-relacionamentos, de forma que se torne possível um estudo e uma análise posterior, utilizando-se uma representação gráfica. É uma técnica de modelagem bastante apropriada para situações problemáticas que são predominantemente descritas por noções qualitativas.

O mapa cognitivo tenta capturar a estrutura de relações causais de uma pessoa a respeito de um determinado assunto. Os conceitos que uma pessoa emite são representados por pontos, e as ligações causais entre esses conceitos são representadas com setas entre esses pontos (HWANG; LING, 1987).

Segundo Campello de Souza (2006) um elevado nível de desempenho cognitivo depende de redes socioculturais onde diversas pessoas interagem entre si em padrões entrelaçados de relacionamentos.

De acordo com Eden (1988), existem três métodos para construir mapas cognitivos. No primeiro método, os mapas são elaborados a partir de documentos. Tal procedimento tem a vantagem de não ser intrusivo, captando as preocupações dos decisores de forma mais espontânea. O segundo método é aquele em que a informação é obtida por meio de

questionários para a confecção do mapa cognitivo. A vantagem é que se podem obter mais informações do que com a análise de documentos. O terceiro método utiliza entrevistas como forma de obtenção das informações necessárias para se realizar o mapa cognitivo relacionado a uma situação problemática. Possui como vantagem uma maior interação entre o facilitador e os decisores. O facilitador pode iniciar as discussões com entrevistas individuais com cada um dos participantes, ou partir diretamente para uma seção de *brainstorm* com o grupo. Nesses encontros, o facilitador, usando um procedimento tão estruturado quanto queira, procura uma definição para o problema e, com base nela, tenta obter do decisor os fatores que são importantes no contexto por meio de questões do tipo (GOMES *et al.*, 2002):

- Por que isto é importante para você?
- Por que você está preocupado com isto?
- De que forma (como) seria possível melhorar esta situação?
- Como os dados se ligam? Como uma informação passa de um local para outro?

Os mapas cognitivos de grupos feitos com a agregação de mapas individuais permitem que os participantes passem a conhecer o que os outros decisores levam em consideração no contexto decisório analisado. Além disso, o número de reuniões simultâneas com todos os membros do grupo é reduzido, pois elas só são necessárias no processo de agregação dos mapas cognitivos individuais. Outra vantagem dos mapas é que sua forma de representação gráfica possibilita a visualização clara das idéias de todos os envolvidos. Tal forma de representação também permite que ao final do processo as idéias estejam organizadas, facilitando a recuperação de informações.

Segundo Hwang e Lin (1987), uma das limitações dos mapas cognitivos é que existem formas de pensamento que não envolvem relações de causa-efeito ou de meio-fim, o que dificulta (ou até mesmo impede) a construção de um mapa cognitivo. Ainda segundo esses autores, os mapas cognitivos têm como desvantagem a falta de quantificação, ou seja, é difícil estimar o quanto um determinado conceito influencia outro.

A seguir será apresentada uma revisão da literatura sobre os modelos de decisão em grupo, sendo enfocados sob a ótica da estruturação de problemas, a fronteira entre esses métodos e a avaliação do problema.

3.2.2 Modelos de decisão em grupo baseados em métodos de estruturação de problemas

Quando as pessoas estão enfrentando um problema comum e estão interessadas em resolvê-lo, seja intra-organizacional ou inter-organizacional, então elas precisarão tomar

decisões em grupo. Usualmente, a decisão em grupo é entendida como uma redução de diferentes preferências individuais para uma preferência coletiva simples.

Em situações de decisão que envolvem múltiplos atores, cada um com diferentes sistemas de valores e informações, a decisão final geralmente será o resultado da interação entre eles. Há vários conflitos nessa interação, os quais podem ser provenientes de vários fatores, tais como diferenças étnicas ou crenças ideológicas, diferentes objetivos específicos ou diferentes regras dentro da organização.

De acordo com Eden (1995), as aplicações dos PSMs (sigla do inglês *Problem Structuring Methods*, em português: métodos de estruturação de problemas) para guiar as tomadas de decisão na prática são ainda menores do que as que utilizam os métodos tradicionais de pesquisa operacional. Contudo, o número de publicações de estudos realizados é suficientemente grande para se realizar uma revisão.

Franco *et al.* (2004) estudaram a aplicação de PSMs em um contexto de problemas rotineiros em cooperação multi-organizacional, com a intenção de apoiar o aprendizado inter-organizacional, tendo em vista que a maioria dos PSMs eram empregados apenas em situações de problemas não-rotineiros. Para essa nova abordagem, os autores desenvolveram o método COLA (*Cross Organizational Learning Approach*, em português: Abordagem de Aprendizado Organizacional Cruzado). COLA utiliza a abordagem SCA (abordagem de escolha estratégica), baseada em *workshops*, para identificar e revisar incidentes críticos e projetos de sucesso, e gerar um limitado conjunto de ações-chave que irão retroalimentar os parceiros e os futuros projetos de cooperações. Além disso, ele cria o que pode ser conceitualizado como dados *soft* de projeto na forma de experiências individuais dos participantes (individual não somente porque cada um deles vai expor os diferentes aspectos do projeto, mas também porque eles vão entrar com diferentes percepções do projeto e suas expectativas sobre ele). Assim, o método COLA habilita a identificar conexões entre procedimentos organizacionais e o impacto delas no nível local, além de permitir que os participantes se comprometam com um conjunto de mudanças mutuamente benéficas em cada procedimento organizacional, as quais seriam inatingíveis se fossem consideradas separadamente.

Brow e Macleod (1996) desenvolveram uma abordagem contra a política de gerenciamento de recurso natural tradicional, a qual em grande parte enfoca a implementação de soluções prescritivas para maximizar uma função de objetivo. Assim, os autores propuseram uma abordagem que integra os fundamentos de equilíbrio ecológico e metodologias de sistemas suaves (SSM) para definir opções, fazer recomendações de decisão

gerencial e implementar programas que resultaram em melhorias, permitindo respostas do ecossistema, expectativas mais realistas por parte dos usuários e melhor uso da tecnologia por parte dos beneficiários.

Winter (2006) utilizou o SSM para estruturação do problema de gestão de projeto, em uma intervenção dentro de *Tesco Store* - principal varejista de alimentos do Reino Unido - para ajudar a desenvolver um modelo empresarial específico para análise de filial. A ideia desse modelo era analisar especificamente as lojas da Tesco nos locais onde já tinham negócios. Para cada loja, seriam considerados aspectos como mercado e o local demográfico, a fim de identificar a gama de produtos-ótimos para cada loja, excluindo os produtos que a empresa já trabalhava. Nesse modelo, o método SSM foi adaptado para criar uma abordagem específica alinhada a esse problema particular de criação de projetos de frentes de trabalho. O autor utilizou o procedimento do método em duas etapas: primeiro para planejar o *workshop* e posteriormente, durante o próprio *workshop* para facilitar a realização do mesmo.

Horlick-Jones *et al.* (2001) apresentaram uma aplicação que se propunha reprojeter a forma da organização do Carnaval de Notting Hill na Inglaterra, reconhecendo a interconectividade das áreas-problema e as numerosas fontes de incerteza que potencialmente inibem a tomada de decisão em termos de realizar ações de uma forma diferente. Uma restrição adicional era o fato de que os participantes potenciais eram pessoas muito ocupadas, de limitada disponibilidade, podendo participar de um único *workshop*. Assim, os autores propuseram o uso de dois métodos juntos em um único *workshop*, usando o SSM e o SCA. O primeiro método para explorar a complexidade do problema e elicitare as possíveis opções de reprojeto, e o segundo método foi utilizado para melhor analisar as incertezas e interconectividades. O SCA também tem a vantagem de explicitamente trabalhar em busca de pacotes de compromisso para futuras ações.

3.3 Modelos multicritério para decisão em grupo (abordagem *hard*)

Na literatura sobre a tomada de decisão em grupo, o problema da agregação de diferentes preferências individuais para estabelecer uma preferência coletiva tem sido largamente estudado (VAN DEN HONERT; LOOTSMA, 1996; FORMAN; PENIWATI, 1998; GARCIA-LAPRESTA; MENESES, 2005; JABEUR; MARTEL, 2005; MATEOS *et al.*, 2006).

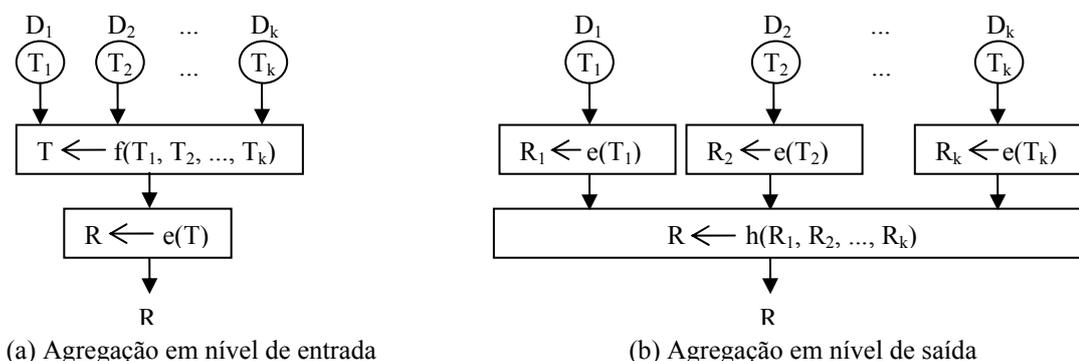
De acordo com Kim e Ahn (1999), devido ao aumento da complexidade dos ambientes socio-econômicos, cada vez é menos possível que um decisor sozinho considere todos os aspectos relevantes de um problema. A mudança de foco do problema de um decisor para

vários decisores introduz uma importante questão sobre a forma de agregação das estruturas de preferências dos decisores. A análise deve ser estendida a fim de considerar, de alguma maneira, a estrutura de preferência de cada um dos membros do grupo, as diferentes percepções das conseqüências e as diversas aspirações. Assim, o problema de tomada de decisão em grupo é normalmente entendido como sendo a redução das diferentes preferências individuais quanto aos objetivos, a um determinado conjunto de preferências coletivas.

Leyva-López e Fernández-González (2003) distinguem duas abordagens gerais para a agregação das preferências do grupo na qual é utilizado o apoio multicritério a decisão:

1. Em uma abordagem, o grupo de decisores deve concordar em relação a alternativas, critérios, performances, pesos, limiares e demais parâmetros necessários antes de o modelo prover uma solução. O grupo discute focado em que ações e critérios devem ser considerados, que pesos e outros parâmetros necessários são apropriados. Uma vez que a discussão é finalizada e toda a informação individual é reunida, uma técnica é utilizada para a obtenção dos valores dos parâmetros desse modelo os quais devem representar a opinião coletiva. Com essa informação, um modelo de decisão multicritério fornece a solução para o grupo.
2. Em outra abordagem, cada membro define seu próprio critério, as avaliações apropriadas e os parâmetros dos modelos (pesos, limiares, etc.), e um método multicritério é usado para se obter a ordenação pessoal. Depois, cada ator é considerado como um critério separado, e a informação contida na sua ordenação individual é agregada a uma ordem coletiva final, utilizando-se a mesma ou outra abordagem multicritério de decisão. Embora os decisores possam trocar opiniões e informações relevantes, é necessário um consenso do grupo somente para definir um conjunto potencial de ações.

Nessa mesma linha de raciocínio, Dias e Clímaco (2005) apresentaram de forma ilustrativa (Figura 3.2), ambas as formas de agregação de preferências em tomadas de decisão em grupo: tanto na entrada dos dados no modelo, como na saída dos resultados do modelo.



(a) Agregação em nível de entrada (b) Agregação em nível de saída
 Figura 3.2 – Formas de agregação das perspectivas individuais
 Fonte: DIAS; CLÍMACO, 2005

Considerando um grupo de K decisores, no qual cada um tem um conjunto de valores aceitáveis para os parâmetros (T_k , sendo $k = 1, 2, \dots, K$), quando a agregação ocorre no nível de entrada (Figura 3.2(a)), um operador $f(\cdot)$, agrega os julgamentos individuais (T_k), dentro de um conjunto T de valores aceitáveis para o grupo, enquanto um operador $e(\cdot)$ gera todos os resultados do método R compatível com T . Quando a agregação ocorre no nível de saída (Figura 3.2(b)), o operador $e(\cdot)$ gera o conjunto dos resultados do método compatível com cada T_k do decisor, enquanto o operador $h(\cdot)$ agrega os resultados dos conjuntos individuais R_k dentro de um conjunto de resultados R .

De acordo com Jabeur e Martel (2005), na literatura de tomada de decisão em grupo frequentemente são adotadas hipóteses em que o resultado coletivo, obtido pela agregação de preferências individuais, é constituído pelo acordo entre todos os membros, isto é, será considerado como um resultado de consenso. Entretanto, em uma situação real de tomada de decisão em grupo, o primeiro resultado coletivo pode ser aceito somente por alguns membros. Isso é devido ao fato de que esse resultado é produzido somente por tratamento matemático e, conseqüentemente, é obtido sem diálogos, discussões e confrontação de idéias entre os membros. Por isso, acredita-se ser essencial que os membros participem de um procedimento interativo que lhes permita alcançar um resultado de consenso.

Segundo Forman e Peniwati (1998), as duas formas básicas de agregar as preferências individuais em uma preferência de grupo dependem de os membros agirem em conjunto como uma unidade (por exemplo, chefes de departamento reunidos para elaborar políticas corporativas) ou como uma simples “junção” de indivíduos (por exemplo, representantes de distritos eleitorais que discutem reformas de bem-estar social, com contribuintes, políticos, etc.). É necessário decidir qual situação é aplicável para determinar o procedimento formal para a agregação:

⇒ Agregação dos julgamentos individuais

Quando os indivíduos estão dispostos a renunciar às suas próprias preferências (valores, objetivos) para o bem da organização. Eles agem em conjunto e agrupam os seus julgamentos de tal modo que o grupo se torne um “novo” indivíduo e se comporte como um só. Há uma sinergia na agregação dos julgamentos dos indivíduos. As identidades individuais são perdidas na fase de agregação, e uma síntese dos pontos de vista resulta na prioridade do grupo. As prioridades individuais não são relevantes.

⇒ Agregação das prioridades individuais

Quando cada um dos indivíduos age do seu próprio jeito, com sistemas de valores diferentes. É caracterizado pela coleção de indivíduos independentes. Nesse caso, o interesse está no resultado das prioridades das alternativas de cada participante.

Segundo Kim e Ahn (1999), tomadas de decisão em grupo podem ser mais bem apoiadas por modelos que incorporem percepções diferentes e mostrem os pontos de desacordo entre as partes. Isso se dá porque nos ajustes cooperativos não é realista esperar que os membros do grupo concordem com a significância e a interpretação das informações disponíveis.

Em contrapartida, Englehardt (1999) *apud* Regan *et al.* (2006) argumenta que o consenso somente pode ser alcançado entre pessoas que se predispuserem a metas e modos de pensamento comuns. Caso isso seja verdade, então o consenso na tomada de decisão ambiental, por exemplo, é improvável, dada a sua natureza inerentemente interdisciplinar.

Nesse contexto, diante dos vários modelos diferentes utilizados para a agregação de preferências encontrados na revisão da literatura, é apresentada a seguir uma breve discussão sobre alguns desses modelos, levando em consideração a etapa em que a agregação é realizada e como é feita a avaliação da importância entre os decisores.

3.3.1 Modelos encontrados de agregação dos julgamentos individuais

Jabeur e Martel (2005) propuseram um método que consiste na agregação das preferências individuais a fim de estabelecer pelo menos uma preferência coletiva. Ele tem duas características principais: (a) é a distância mínima entre todas as preferências individuais; e (b) leva em consideração a relativa importância entre os membros. Cada sistema de preferência individual é obtido usando um algoritmo AL3 (JABEUR; MARTEL, 2005). A idéia principal desse algoritmo é determinar para cada par de alternativas (x_i, x_k), a relação coletiva mais próxima $H^* \in \{>, >^{-1}, \approx, ?\}$ para as relações binárias individuais, ligadas a esses mesmos pares de alternativas. Essa relação coletiva é gerada considerando-se a importância relativa dos membros e é estabelecida a partir da definição, para cada par de alternativas (x_i, x_k), de um índice $\phi^H(x_i, x_k)$ onde $H \subset \{>, >^{-1}, \approx, ?\}$. Este índice mede a divergência entre a relação coletiva H e as relações binárias individuais, é determinado a seguir:

$$\phi^H(x_i, x_k) = \sum_{t=1}^R w_t(x_i, x_k) \Delta(H, R_t(x_i, x_k))$$

$$\text{em que, } R_t(x_i, x_k) \begin{cases} > & \text{se } x_i P x_k \\ \approx & \text{se } x_i I x_k \\ ? & \text{se } x_i R x_k \\ <^{-1} & \text{se } x_k P x_i \end{cases}$$

São as relações propostas pelo membro t para comparar os pares de alternativas (x_i, x_k) ; $w_t(x_i, x_k)$ é o coeficiente normalizado da importância relativa do membro t para o par de alternativa (x_i, x_k) .

Dias e Clímaco (2005) propuseram o uso do *VIP Analysis (Variable Interdependent Parameters)*, incorporando uma abordagem complementar, para, tratar a agregação de performances multicritério por meio de uma função valor aditiva sobre a informação imprecisa. O método de apoio a decisão em grupo proposto (VIP-G) gera uma decisão democrática unitária, cujos membros alcançam uma decisão final de um problema de escolha baseados no consenso ou em alguma regra da maioria (em que um resultado é considerado aceitável se pelo menos αK decisores concordaram).

Partindo da matriz de performance das alternativas com relação aos critérios, o VIP-G considera que todos os decisores concordam com as avaliações de performance, porém têm opiniões diferentes com relação à importância de cada critério. Assim, usando-se um modelo de função valor aditiva, é introduzida a importância dos critérios sob a forma de constantes de escala (k_1, \dots, k_n) , a qual define os *trade-offs* entre as alternativas. Os decisores começam colocando, individualmente, algumas restrições para estas constantes de escala. O VIP-G computa o valor global mínimo e máximo atingido por cada alternativa, obtidos mediante programação linear. Esses valores variam por decisor. No próximo passo, o VIP-G também usa a programação linear para computar a máxima vantagem de cada alternativa contra qualquer outra, isto é, $\max \{V(a_i, k) - V(a_j, k) : k \in T_k\}$, para cada decisor. Esse valor denota a tolerância (ε) que o decisor permite para uma alternativa dominar a outra. Por exemplo, $a_1 \Delta_{\varepsilon(\alpha)} a_2$, o que quer dizer que a_1 quase domina a_2 com uma tolerância de ε para uma maioria de decisores α .

Lehrer e Wagner (1981) *apud* Regan *et al.* (2006), propuseram a agregação das preferências individuais a partir da idéia de que os decisores também possam estabelecer pesos uns aos outros. Suponha-se que existam n agentes, cuja avaliação inicial para os pesos de um determinado critério seja $p_1^0, p_2^0, \dots, p_n^0$ para uma hipótese particular. O primeiro passo do modelo de consenso requer que cada membro, i , avalie um peso para si e para os outros membros do grupo, j , chamado de peso de respeito, w_{ij} , onde $\sum_{j=1}^n w_{ij} = 1$. Quanto mais alto o

valor do peso, w_{ij} , maior o respeito do agente i para com a opinião ou conhecimento do agente j . É importante notar que há dois tipos pesos a ser avaliados: pesos de importância dos critérios (p_i^m) e pesos de respeito de cada membro do grupo para com todos os outros membros (w_{ij}). O agente i deve avaliar um peso positivo para pelo menos um outro membro do grupo com exceção dele. Conseqüentemente, o peso original de um critério dado pelo agente i , p_i^0 , deve ser atualizado para incorporar as opiniões dos outros membros do grupo, de acordo com os pesos de respeito que o agente i avaliou, o que gera um novo peso para o critério, por agente, avaliado como:

$$p_i^1 = w_{i1}p_1^0 + w_{i2}p_2^0 + \dots + w_{in}p_n^0 \quad i = 1, \dots, n \quad (3.9)$$

Caso o consenso não seja alcançado na primeira interação de agregação (quando p_i^1 , $i = 1, \dots, n$ são desiguais para pelo menos um membro i), o processo será repetido com os mesmos pesos de respeito (quando os agentes não mudam os pesos em relação aos outros membros), ou com novos pesos de respeito (quando a nova informação está disponível e conduz os agentes a atualizarem os pesos). Caso os agentes mantenham os mesmos pesos de respeito, então a segunda interação de agregação do peso do critério para agente i será:

$$p_i^2 = w_{i1}p_1^1 + w_{i2}p_2^1 + \dots + w_{in}p_n^1 \quad i = 1, \dots, n \quad (3.10)$$

Assim, quando todos os agentes são considerados simultaneamente, o modelo formalizado de consenso é:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} p_1^0 \\ p_2^0 \\ \dots \\ p_n^0 \end{bmatrix}$$

em que W é a tabela de constantes de pesos de respeito, e P é a coluna de pesos de critério iniciais para cada um dos n membros do grupo. O estágio 1 do peso do critério (isto é, pesos do critério resultantes da primeira interação de agregação) resulta da multiplicação da matriz WP . O estágio 2 do peso do critério (quando os mesmos pesos de respeito são mantidos) é calculado como $W(WP)=W^2P$, um estágio- m é W^mP . Com m iterações, os pesos do critério atualizados convergem para um único número, que é o peso consensual do critério (p_c , isto é, $p_c = p_1^c = p_2^c = \dots = p_n^c$ em que c é o número de repetições necessárias para se alcançar a convergência). A convergência está garantida quando pesos de respeito são constantes (e não-trivial) ao longo do processo de repetição para cada agente.

Leyva-López e Fernández-González (2003) abordaram o uso do método multicritério ELECTRE III para apoiar um grupo de decisores com diferentes sistemas de valores de modo

a atingir um consenso num conjunto de possíveis alternativas. O ELECTRE – GD parte de N rankings individuais e N funções de preferência correspondentes, aplicando o método ELECTRE III para se obter uma relação binária *fuzzy* que represente a preferência dos SDMs (*Supra Decision Makers* traduzido como supra decisores), os quais são também úteis para derivar o ranking coletivo final.

Os autores supõem que exista consenso com relação à matriz de performance das avaliações das alternativas com relação aos critérios analisados. Para simplificar o estudo, porém, isso não é obrigatório. Cada decisor pode ter sua própria avaliação. Os decisores avaliam os pesos dos critérios e podem não estar interessados em todos eles (avaliem-nos como peso zero). Cada decisor tem também a possibilidade de maximizar ou minimizar cada critério. De acordo com o método ELECTRE III, são realizadas as escolhas dos limiares de preferência, indiferença e veto. Para cada decisor é aplicado o método e depois é usado algoritmo genético para explorar as relações de sobreclassificação e derivar a ordenação final das alternativas em ordem decrescente de preferência. O próximo passo é resolver um novo problema de decisão multicritério, com o mesmo conjunto de ações, mas agora trabalhando com a matriz de preferência.

Assim, segundo os autores do método, o ELECTRE-GD é uma extensão do ELECTRE III para uma decisão colaborativa em grupo, usando o algoritmo genético com boas propriedades para explorar as relações de sobreclassificação *fuzzy*, derivadas das idéias de concordância, discordância, veto e incomparabilidade do ELECTRE. Um ponto crucial do método é a existência do SDM, um ator especial com autoridade de estabelecer regras de consenso e informações prioritárias ao conjunto dos membros do grupo.

3.3.2 Modelos encontrados de agregação dos resultados individuais

A questão da aferição das decisões de um grupo, em função das preferências individuais, articula-se intimamente com a própria conceituação do que se costuma chamar de regime democrático, em que a decisão final é uma forma de representar a vontade geral. Mas, como o aval dessa vontade geral é a unanimidade, por sua vez bastante rara, é necessário confiar nos métodos de agregação utilizados para representar a vontade da maioria, que, sem ser necessariamente a de todos, é estabelecida segundo aquela vontade.

Quando as formas democráticas procuram uma maneira de legitimar um resultado final por meio de sua confirmação pelo aval da vontade coletiva, o voto livre e universal é um dos métodos mais importantes para se atingir esse objetivo. De acordo com Saari (1999), o processo de votação é a abordagem mais comumente utilizada para a agregação de

preferências individuais. No sistema de votação, os métodos mais conhecidos são: o método pluralista, a regra da maioria e o método de Borda, os quais têm uma abordagem *ad hoc*.

⇒ Método Pluralista:

Esse método é um dos meios mais simples para aferir a vontade coletiva, por meio do voto. Nele, a opção que receber o maior número de votos vence. Tal sistema oferece sérios inconvenientes. Por exemplo, numa disputa entre seis opções alternativas, uma delas consegue 20% dos votos e as cinco demais obtêm 16% dos votos cada uma. Nesse caso, pelo método pluralista, o primeiro vence apesar de ter alcançado apenas 20% da preferência contra 80% divididos entre os demais contrários à sua vitória (SMITH, 1973).

Esse sistema é muito utilizado em eleições políticas, porém o sistema do segundo turno é adotado em muitos países para evitar tal inconveniente quando, numa eleição de mais de dois candidatos, nenhum conseguir mais da metade dos votos válidos. Além disso, só é indicado nos casos em que os decisores indicam apenas uma alternativa, tornando-se necessário outro tipo de agregação quando são indicadas várias alternativas a partir de uma ordenação.

⇒ Método de Condorcet (Regra da Maioria):

Condorcet (1785) *apud* Yong (1988) propôs o que é comumente conhecido como regra da maioria simples, em que a alternativa x é declarada vencedora se para todo $y \neq x$, x é preferida a y por mais votos do que o número dos que preferem y a x . Similarmente, y seria ordenado em segundo lugar se para todo o $z \neq x$ ou y , y é preferido a z por mais decisores que o número dos que preferem z a y . Considere-se o seguinte exemplo da Tabela 3.1, em que cinco decisores avaliam por ordem de prioridade três alternativas (A, B, C).

Tabela 3.1 – Exemplo da agregação de preferências baseado na Regra da Maioria

ALTERNATIVAS	A	B	C
Decisor 1	1	2	3
Decisor 2	3	1	2
Decisor 3	2	1	3
Decisor 4	2	3	1
Decisor 5	3	2	1

Fonte: Autora (2006)

Percebe-se que $B > C$ para 3 decisores (D1, D2 e D3).

$B > A$ para 3 decisores (D2, D3 e D5).

$C > A$ para 3 decisores (D2, D4 e D5).

Então, a ordenação final de acordo com essa regra seria então: $B > C > A$.

Um problema citado por Condorcet, que frequentemente é encontrado na aplicação desse método é a ocorrência de intransitividade, o chamado de “paradoxo da votação” ou efeito Condorcet. Como no exemplo, se for considerado que cada decisor carrega uma quantidade de votos (D1: 23 votos; D2: 17 votos; D3: 2 votos; D4: 10 votos; D5: 8 votos), então se tem que: $A > B$ por 33 votos (D1: 23 + D4: 10) do total de 60; $B > C$ por 42 votos (D1: 23 + D2: 17 + D3: 2); $C > A$ por 35 votos (D2: 17 + D4: 10 + D5: 8). Assim, surge um ciclo que põe em dúvida o procedimento da maioria simples. Isso significa que tanto A como B ou C obtêm a maioria dos votos. Essa contradição, que é o mencionado efeito Condorcet, mostra a intransitividade da opinião coletiva expressa na fórmula $A > B > C > A$.

Assim, o efeito Condorcet denuncia uma irracionalidade (intransitividade) da decisão coletiva, apurada a partir das somas das decisões individuais transitivas. Esse problema foi formulado com precisão por Kenneth Arrow (1950), por meio do *Arrow's impossibility theorem* (Teorema da impossibilidade de Arrow), em que ele demonstrou que nenhum sistema de votação baseado em preferências ordenadas pode satisfazer a um conjunto de cinco condições, quando há pelo menos dois decisores e três ou mais opções para se escolher. Tais condições, consideradas como exigências perfeitamente razoáveis para qualquer procedimento de tomada de decisão coletiva que se fundamente em preferências individuais expressas por meio do voto, são: unanimidade, não-ditadura, transitividade (se o grupo prefere A a B, B a C, então A deve ser preferido relativamente a C), não-restrição das preferências e independência face a alternativas irrelevantes.

⇒ Método de Borda:

Essa abordagem, proposta por Borda (1781) *apud* Cook (2006), é baseada a partir da ordem de cada alternativa dada por cada decisor. A cada posição da avaliação individual do decisor é atribuído um número de pontos: 0 para a última, 1 para a penúltima, ..., n-1 para a primeira colocada. Assim, adiciona-se 1 ponto quando se passa de uma posição para a imediatamente superior. Os pontos "ganhos" por cada alternativa são totalizados, e as alternativas são ordenadas por ordem decrescente de pontos obtidos (SAARI, 1999). Por exemplo: a partir da Tabela 3.1, pode-se elaborar a Tabela 3.2, que apresenta a quantidade de votos para cada alternativa por colocação, sendo atribuídos valor 2 para o 1º. Lugar, 1 para o 2º. Lugar e 0 para o 3º.

Tabela 3.2 – Resultado da ordenação final pela Contagem de Borda

	A	B	C
Decisor 1 (23 votos)	23 x 2	23 x 1	23 x 0
Decisor 2 (17 votos)	17 x 0	17 x 2	17 x 1
Decisor 3 (2 votos)	2 x 1	2 x 2	2 x 0
Decisor 4 (10 votos)	10 x 1	10 x 0	10 x 2
Decisor 5 (8 votos)	8 x 0	8 x 1	8 x 2
SOMATÓRIO	46+0+2+10+0=58	23+34+4+0+8=69	0+17+0+20+16=53

Fonte: Autora (2006)

A ordenação final de acordo com esse sistema seria então: B, A, C.

É importante notar que, sem considerar os pesos dos decisores, nesse caso, o número de votos por decisor, a ordenação final seria: B (6), C (5), A (4).

Além desses métodos clássicos, nos últimos anos vários autores têm estudado o problema da agregação das prioridades individuais dentro de um grupo, a fim de chegar a uma prioridade coletiva (SMITH, 1973; COOK; KRESS, 1985; COOK; SEIFORD, 1978; COOK, 2006), com o objetivo de investigar e aprimorar as análises. A seguir são brevemente descritos alguns dos métodos que caracterizam os avanços nessa área.

⇒ Método baseado na distância das ordenações

Cook e Seiford (1978) propuseram que a agregação dos *rankings* individuais pode ser vista em termos de medida de distância entre as posições ordinais. Essa medida relativa ao par de posições seria um indicador do grau de correlação entre elas.

O problema é determinar a ordenação de compromisso que esteja mais de acordo com todas as ordenações individuais. Implícita nessa formulação do problema está a existência de uma medida de concordância ou discordância entre as posições. Tal abordagem introduz uma métrica ou função de distância para o conjunto de posições. A ordenação agregada será definida como a minimização da distância absoluta total (discordância).

Para a entrada dos dados no programa, o modelo representa um determinado *ranking* A de n alternativas pelo vetor $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$, em que a_i é a prioridade da alternativa i .

Por exemplo: $A = (a, b, c, d, e)$

$$A = \begin{bmatrix} a \\ e \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = (1, 3, 4, 5, 2)$$

Nesse caso, tem-se que a está em 1º. lugar; b em 3º.; c está em 4º.; d em 5º.; e , e em 2º.

A representação do problema é dada pela equação:

$$d_{ik} = \sum_{l=1}^m |a_i^l - k| \tag{3.11}$$

em que:

a_i^l é a prioridade da alternativa i dado pelo decisor l ;

k representa uma determinada posição na ordenação;

d_{ik} é a matriz que representa o somatório dos desvios entre as distâncias que a alternativa i ordenada pelo decisor l (a_i^l) está para a ordenação k .

Assim, pode-se formular o problema como sendo:

$$\begin{aligned} \min_{x_{ik}} \quad & \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n d_{ik} x_{ik} \\ \text{s.a.} \quad & \sum_{i=1}^n x_{ik} = 1, \quad \forall k; \\ & \sum_{k=1}^n x_{ik} = 1, \quad \forall i; \\ & x_{ik} \geq 0 \quad \forall i, k; \end{aligned} \tag{3.12}$$

O objetivo do problema é prover uma ordenação final de modo que sejam minimizadas as distâncias para uma determinada posição.

Por exemplo, considerando-se os dados da Tabela 3.1, tem-se que $n = 3$ alternativas, $l = 5$ decisores, $k = 3$ posições de ordem. Representando da forma proposta, tem-se que:

$$D1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} \quad D2 = \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} \quad D3 = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix} \quad D4 = \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix} \quad D5 = \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Calculando-se d_{ik} :

$$d_{A1} = |1-1| + |3-1| + |2-1| + |2-1| + |3-1| = 6$$

$$d_{B1} = |2-1| + |1-1| + |1-1| + |3-1| + |2-1| = 4$$

$$d_{A2} = |1-2| + |3-2| + |2-2| + |2-2| + |3-2| = 3$$

E assim por diante. Tem-se que a matriz d_{ik} :

Alternativa	Prioridade		
	1	2	3
A	6	3	4
B	4	3	6
C	5	4	5

Resolvendo o problema por programação linear inteira, tem-se que:

Alternativa	Prioridade		
	1	2	3
A	0	0	1
B	1	0	0
C	0	1	0

A ordenação final é então: B, C, A, sendo o valor mínimo encontrado 12 (mínima distância).

Esse método foi concebido para as situações em que todos os decisores têm a mesma importância relativa, ou seja, os decisores são considerados como igualmente importantes. Além disso, como pode ser percebido, considera apenas a ordinalidade das alternativas (ordem completa), não levando em consideração a intensidade de preferência entre elas.

⇒ Método baseado nas distâncias ordinais com intensidade de preferência

Como um avanço em relação ao método baseado nas distâncias das ordenações, Cook e Kress (1985) propuseram uma abordagem em que a força da preferência de uma alternativa sobre as outras é considerada por meio do intervalo (distância) entre as posições ordinais. O método tenta creditar especificações de preferência com algo além da pura comparação ordinal aos pares de alternativas, ou seja, não considera apenas que uma alternativa é preferível a outra, mas sim permite que o decisor expresse uma intensidade de preferência de uma alternativa sobre outra.

Por exemplo, considerem-se cinco alternativas (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) ordenadas como segue:

$$A = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_3, a_5 \\ a_2 \\ a_4 \end{bmatrix}$$

a_1 está em 1º. lugar; a_3 e a_5 estão em 2º.; a_2 em 3º.; e, a_4 em 4º.

Suponha-se que essas cinco alternativas devem ser avaliadas em sete posições. Então, os decisores devem representar suas preferências incluindo a intensidade. A seguir, um exemplo de dois decisores que tiveram a mesma preferência da ordenação de A, porém expressaram intensidades diferentes.

$$A = \begin{bmatrix} a_1 \\ - \\ a_3, a_5 \\ a_2 \\ - \\ a_4 \\ - \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_3, a_5 \\ - \\ - \\ a_2 \\ - \\ a_4 \end{bmatrix}$$

A partir dessas informações, elaboram-se a matriz de intensidade de preferência $P^A = (p_{ij}^A)$, em que p_{ij}^A é o número de posições nas quais a_i é preferível a a_j . Continuando o exemplo, tem-se que P^A :

	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
a ₁	0	3	2	5	2
a ₂	-3	0	-1	2	-1
a ₃	-2	1	0	3	0
a ₄	-5	-2	-3	0	-3
a ₅	-2	1	0	3	0

Em um conjunto natural de axiomas, Cook e Kress (1985) mostraram que a única função de distância no espaço de todas as posições com intensidade de preferência é:

$$d(A, B) = \frac{1}{2} \sum_{ij} |p_{ij}^A - p_{ij}^B| \quad (3.13)$$

Considere-se uma situação em que haja m decisores com ordenações individuais $\{A_l\}_{l=1}^m$ com intensidade de preferência, tendo $\{P^l\}_{l=1}^m$ sendo a matriz que corresponde à intensidade de preferência, então, a ordenação final \hat{B} é dada por:

$$M(\hat{B}) = \sum_{l=1}^m d(A_l, \hat{B}) = \min_{B \in \beta} \sum_{l=1}^m d(A_l, B) \quad (3.14)$$

em que β é o conjunto de todas as $n \times n$ matrizes de intensidade de preferência.

Segundo os autores do método, no caso do número de alternativas a serem ordenadas for menor ou igual a quatro, o problema de agregação é um problema de rede linear puro. Para mais de quatro alternativas, é equivalente a um problema de rede de ordem especial (COOK, 2006).

Esse método também considera que todos os decisores têm a mesma importância.

⇒ Métodos de Sobreclassificação

Os métodos de sobreclassificação, conforme já foi explicado no capítulo de base conceitual desta tese, fazem uso de uma matriz de concordância, em que as alternativas são comparadas aos pares a partir das avaliações estabelecidas, com base em relações de preferência.

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

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

A concordância entre duas alternativas a e b é uma medida ponderada do número de critérios sob os quais a alternativa a é preferida ou equivalente à alternativa b . Nos casos de agregação das preferências com métodos dessa natureza, os decisores são considerados como critérios e a performance das alternativas é dada pelo resultado das preferências individuais. Assim, admite-se que os decisores possam ser avaliados com diferentes pesos, ou seja, diferentes importâncias relativas entre eles, ou não ser avaliados (considerando-se que são igualmente importantes). Cada elemento a_{ij} da matriz de concordância representa o número de decisores que preferiram a alternativa i em relação a j (ROY, 1996).

Segundo Vincke (1992), os métodos de sobreclassificação procuram estabelecer comparações entre as alternativas, duas a duas, com o estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores. São métodos não-compensatórios, que favorecem as ações mais balanceadas, que possuem melhor performance média.

De acordo com Leyva-López e Fernández-González (2003) que propuseram o uso do ELECTRE-GD, as informações necessárias para a análise global são dadas pela interação entre o Supradecisor com os demais decisores. Tais informações são os pesos dos decisores e demais limiares necessários para a utilização do método. Assim, é mister que os decisores cheguem num consenso em relação a essas informações que serviram de base para os dados de entrada para o modelo.

⇒ Método de agregação aditiva simples

Esse método leva em consideração apenas a performance da alternativa perante o ponto de vista de cada decisor. O procedimento utilizado é bastante simples. Deve-se fazer o somatório total das intensidades de preferência de acordo com as opiniões dos indivíduos para cada alternativa. Vence a alternativa que obtiver o maior valor.

Porém, o problema que pode acontecer com esse tipo de método é quando, na avaliação, algum decisor força uma performance baixa para uma alternativa qualquer em favor de outra de sua preferência, e acaba por melhorar a performance de uma outra alternativa não-desejada. Por exemplo, dadas as performances das alternativas por decisor, apresentadas na Tabela 3.3 abaixo, percebe-se que a alternativa A é a vencedora por ter alcançado o maior somatório de pontos a seu favor.

Tabela 3.3 – Exemplo de Agregação Aditiva

ALTERNATIVAS	D1	D2	D3	D4	D5	Soma
A	10	10	2	2	2	26
B	0	5	10	5	3	23
C	4	0	4	10	4	22
D	2	4	3	3	10	22
E	3	3	6	6	6	24

Fonte: Autora (2006)

Contudo, como os decisores D3, D4 e D5 avaliaram essa alternativa em último lugar, ao perceberem que o pequeno valor atribuído à alternativa A ajudou a mesma a sair vencedora, forçam uma performance baixa para essa alternativa, atribuindo-lhe o valor zero, permanecendo assim com a mesma ordenação inicialmente proposta. A Tabela 3.4 apresenta como fica o resultado com essa modificação.

Tabela 3.4 – Exemplo de Agregação Aditiva com modificação na performance

ALTERNATIVAS	D1	D2	D3	D4	D5	soma
A	10	10	0	0	0	20
B	0	5	10	5	3	23
C	4	0	4	10	4	22
D	2	4	3	3	10	22
E	3	3	6	6	6	24

Fonte: Autora (2006)

Com essa pequena modificação da performance na alternativa A, percebe-se uma significativa diferença na ordenação final, pois A passa agora a ocupar o último lugar no *ranking*. Dessa forma, a alternativa E sai vencedora. Mas, fazendo uma análise das ordenações inicialmente propostas, nota-se que nenhum decisor classificou essa alternativa E em 1º. lugar; dois dos decisores (D3 e D4) classificaram-na em 2º.; outros dois (D1 e D5) em 3º.; e ainda um decisor (D2) em 4º.

Assim, esse método apresenta-se ser muito instável, especialmente nos casos em que os decisores têm acesso à avaliação dos demais envolvidos no processo, de forma que a ordenação final encontrada pode não representar a idéia coletiva.

Em contrapartida, nos casos em que as avaliações de performance das alternativas são realizadas por meio de métodos bem estruturados, esse problema é minimizado, como acontece no modelo proposto por Macharis *et al.* (1998). Nesse modelo são considerados três estágios. Primeiramente, é estruturado o problema de decisão em grupo no formato multicritério. Posteriormente, uma avaliação individual é feita para dar ao decisor uma forma de expressar suas preferências individuais e analisar os dados resultantes do método empregado. Com essa finalidade o método PROMETHEE é utilizado. Finalmente, uma

avaliação global é realizada como um novo problema multicritério, em que os decisores entram no modelo como critérios e a performance das alternativas são os fluxos líquidos resultantes das avaliações individuais. Assim, os *rankings* de cada um são coletados e dispostos numa matriz de avaliação global. Então, tem início um novo problema multicritério com as mesmas alternativas, considerando-se como critérios os decisores. A Figura 3.3 ilustra esse procedimento.

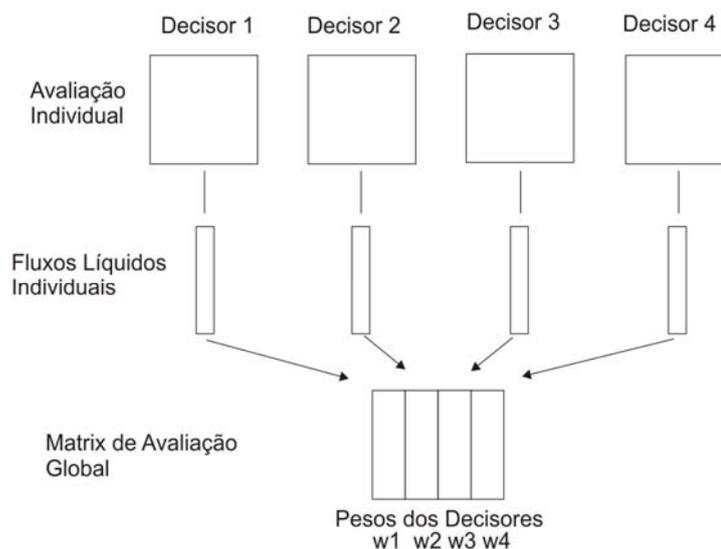


Figura 3.3 – Evolução da avaliação individual para a global
 Fonte: MACHARIS *et al.* 1998

De acordo com o procedimento do PROMETHEE GDSS, uma função de preferência deve ser avaliada para cada um dos critérios. Entretanto, segundo Macharis *et al.* (1998), não é realista a avaliação de diferentes funções de preferência para cada um dos decisores. Os fluxos líquidos de cada decisor já são computados com base nas preferências individuais e são expressos na mesma unidade; então, estes valores podem ser diretamente agregados. Conseqüentemente, é possível fazer o simples cálculo da soma ponderada dos fluxos líquidos individuais, de forma que o fluxo global de uma alternativa para o grupo inteiro será definida assim:

$$\Phi^G(a_i) = \sum_{r=1}^R \phi^r(a_i) \omega_r \quad \text{sendo } R \text{ decisores, } r = 1, 2, \dots, R, \text{ onde:} \quad (3.15)$$

$\phi^r(a_i)$ é o fluxo líquido da alternativa a_i para o decisor r

ω_r é o peso do decisor sendo $\sum_{r=1}^R \omega_r = 1$

Esse fluxo líquido global ordena imediatamente as alternativas de acordo com a preferência global do grupo. Segundo Macharis *et al.* (1998), esse tratamento é chamado de “0-option”.

Percebe-se assim que, embora os autores destaquem que na fase da agregação global seja novamente utilizado o método PROMETHEE II (porém sem avaliar as funções de preferência para os critérios/decisores), na verdade é utilizada uma agregação aditiva ponderada, considerando-se o peso dos decisores.

⇒ Método baseado nas diferenças cardinais

Kim e Ahn (1999) consideraram que os resultados das decisões individuais, mediante a comparação aos pares de dominância, contêm informação útil para motivar a decisão do grupo, tais como a intensidade de preferência de uma alternativa sobre as outras. Os valores de dominância forte ou fraca são considerados como dados de entrada para o procedimento de agregação. Ao invés de usar as posições ordinais para a agregação, que não leva em conta a intensidade de preferência entre as alternativas, os autores sugeriram um procedimento que atenta para essa força das preferências individuais de cada decisor. A intensidade de preferência agregada de uma alternativa ($\varphi_k^N(a)$) pode ser definida como sendo a diferença entre a intensidade agregada em que a alternativa a domina todas as outras alternativas ($\varphi_k^+(a)$) e a das outras sobre a alternativa considerada ($\varphi_k^-(a)$), ou seja, $\varphi_k^N(a) = \varphi_k^+(a) - \varphi_k^-(a)$,

$$\text{onde } \varphi_k^+(a) = \sum_{b \in A} z_{\min}^k(a, b) \quad \text{e} \quad \varphi_k^-(a) = \sum_{b \in A} z_{\min}^k(b, a)$$

$$z_{\min}^k(a, b) = \sum w_j^k \{u_j^k(a) - u_j^k(b)\}$$

$\varphi_k^+(a)$ implica na intensidade pela qual o membro do grupo k prefere a alternativa a em relação a todas as outras, sob a situação menos favorável e, similarmente, $\varphi_k^-(a)$ implica a intensidade em que a alternativa a é dominada por todas as outras alternativas.

Considerando-se a importância dos membros do grupo, a qual é definida por equações lineares, a máxima intensidade de preferência agregada do grupo para a alternativa a sendo preferida às outras pode ser representada por:

$$\varphi_G(a) = \text{Max}_{p \in P} \sum_{k=1}^K p^k \varphi_k^N(a) \quad \forall a \in A.$$

A alternativa a é preferível a b se a intensidade de preferência agregada da alternativa a for maior do que a da b .

$$aPb \quad \text{sse } \varphi_G(a) > \varphi_G(b),$$

$$aIb \quad \text{sse } \varphi_G(a) = \varphi_G(b),$$

$$bPa \quad \text{sse } \varphi_G(a) < \varphi_G(b).$$

A abordagem dada por esse tipo de método parece ser mais adequada aos problemas do cotidiano, pois não leva em consideração apenas a ordinalidade das alternativas, mas também permite que sejam usadas as informações cardinais, mais especificamente a intensidade de preferência entre as alternativas para cada decisor.

Além disso, comparada com o método de distâncias ordinais com intensidade de preferência, percebe-se que a utilização da informação cardinal é muito mais rica do que apenas o aumento da distância intervalar entre as alternativas.

⇒ Outros métodos

Bui (1987) *apud* Jabeur e Martel (2005) propôs um sistema de apoio a decisão em grupo chamado Co-oP, o qual foi essencialmente concebido em duas fases. Na primeira, todos os membros aplicam o método ELECTRE I para gerar um gráfico de sobreclassificação do conjunto de alternativas. A segunda fase consiste em determinar, a partir dos gráficos individuais, o kernel coletivo, isto é, um subconjunto que contenha as “melhores” alternativas para o grupo. Para isso, é identificada para cada alternativa uma nota baseada na quantidade de vezes em que ela sobreclassifica as outras alternativas nos gráficos de individuais.

Bana e Costa (1988) considera a estrutura de função valor aditiva, que os atores expressam em níveis de aceitação para os pesos diferentes e normalmente conflitantes, e propõem uma metodologia para permitir que o decisor leve em consideração essas diferenças na avaliação da importância relativa do critério. A metodologia propõe um Critério de Compromisso Global que substitui a agregação da soma comum dos desempenhos por um Índice de Aceitabilidade, combinando todas as preferências individuais dos atores. O Índice de Aceitabilidade do grupo é calculado usando-se uma função de densidade conjunta. O processo permite identificar a alternativa menos contraditória.

Uma das limitações dos modelos acima mencionados está principalmente relacionando à forma de obtenção de informações com relação à importância relativa dos membros dentro da agregação das preferências. Normalmente esses métodos incorporam o peso dos decisores, mas, devido à falta de uma metodologia adequada para a obtenção desses dados, é comum considerar que todos os participantes têm a mesma força na tomada de decisão.

Entretanto, em situações reais de tomada de decisão em grupo, os membros têm, por exemplo, reconhecida competência para um problema particular, ou ocupam uma posição de hierarquia privilegiada, podendo ter mais influência do que outros nas recomendações finais. Assim, na próxima seção serão discutidos alguns modelos que levaram em consideração as diferenças entre os decisores.

3.3.3 Importância dos decisores

Uma das questões de grande dificuldade na tomada de decisão em grupo é como computar os pesos dos decisores. Em algumas situações, o peso dos decisores pode ser claramente definido. Por exemplo, o número de votos de um membro do parlamento ou o tamanho da população de um país, representado por um membro de comitê internacional, pode imediatamente ser usado como peso do decisor. Entretanto, quando é difícil atingir um acordo nessa medida, é necessário recorrer a algum método objetivo que determine os valores desses pesos ou índices de poder (COOK, 2006).

Forman e Peniwati (1998) sugeriram formar uma hierarquia de fatores, tais como experiência, conhecimento, desempenho prévio, habilidade de persuasão, esforço no problema, etc., para determinar os decisores prioritários. Mas outra questão vem à tona: quem vai prover os julgamentos para essa hierarquia? Caso não seja possível um acordo em que o Supradecisor faça os julgamentos, deve-se perguntar a cada decisor sobre a sua hierarquia no processo. Nesse caso, tem-se um meta-problema de como colocar pesos nos próprios julgamentos individuais dos decisores ou prioridades no processo de agregação para determinar os pesos dos decisores e aplicar a agregação da hierarquia original. Uma possibilidade é assumir pesos iguais. Uma outra é utilizar o método do autovetor de derivação de peso. Argumenta-se que, se $\bar{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ é o ‘verdadeiro’ (mas desconhecido) vetor de prioridade de peso para os indivíduos, e se os vetores derivados dos julgamentos de cada um dos decisores em relação aos outros é organizado em uma matriz: $\bar{M} = (\bar{m}_1, \bar{m}_2, \dots, \bar{m}_n)$, então se pode fazer uma agregação para encontrar as prioridades dos n indivíduos, \bar{x} , onde $\bar{x} = \bar{M} * \bar{w}$.

Uma outra forma de avaliar os pesos dos decisores foi proposta por Lehrer e Wagner (1981) *apud* Regan *et al.* (2006). Os autores propuseram um método de agregação de preferências baseado na idéia de que os membros de um grupo têm opiniões sobre a experiência e a racionalidade dos outros membros do grupo. O modelo indica que cada membro, i , avalie um peso para si e para os outros membros do grupo, j , chamado de peso de respeito, w_{ij} , em que $\sum_{j=1}^n w_{ij} = 1$. Quanto mais alto o valor do peso, w_{ij} , maior o respeito do agente i para com a opinião ou o conhecimento do agente j . O agente i deve avaliar um peso positivo para pelo menos um outro membro do grupo fora ele.

Como pode ser percebido, esse modelo requer que cada indivíduo analise todos os outros membros do grupo, para então lhes atribuir um peso de acordo com o grau de respeito,

experiências ou concordância com os pontos de vista sobre o assunto. Em algumas situações, essa abordagem é bastante dificultada por várias razões. Condon *et al.* (2003) relatam que é uma tarefa extremamente difícil fazer com que os membros do grupo se avaliem uns aos outros, além de avaliarem os pesos dos critérios. Um outro aspecto que deve ser considerado é que os membros do grupo podem esconder as suas verdadeiras preferências ou podem distorcer os seus pesos para aumentar a probabilidade de um resultado desejado. Além disso, um outro fator muito importante a considerar é que a avaliação de um valor numérico para o grau de respeito de uma pessoa para com outra é abstrato e provocativo. Os membros do grupo podem relutar em quantificar os graus de respeito explicitamente para os demais, ou em revelar o seu verdadeiro peso, pois isso pode conduzir a desconfianças ou maus sentimentos dentro do grupo. Há uma diferença muito grande entre uma pessoa discordar verbalmente de outra por meio de argumento, e colocar um valor numérico no nível de respeito que ela tem para com as visões ou conhecimentos dos outros membros do grupo, de uma forma aberta, para que todos vejam. Esse é um resultado indesejável quando o propósito é alcançar o consenso.

Kim e Ahn (1999) apresentaram um método de agregação de preferências no qual se poderia ou não considerar diferentes importâncias relativas entre os decisores. No caso em que os participantes não têm o mesmo poder de decisão para alcançar o consenso, deve ser explicitado um método para refletir essas diferenças. Os autores sugerem que seja formulado um problema de programação linear com restrições, a partir de informações parciais (por exemplo, $P = \{p_1 \geq 2p_2, p_2 \leq p_3\}$, o decisor 1 é duas vezes mais importante que o decisor 2 e o decisor 3 tem maior ou igual importância ao decisor 2). No entanto, os autores não especificam quem deve elaborar essas restrições, ou como elas devem ser elicitadas, se somente pelo Supradecisor que avalia, ou se todos os membros do grupo emitem os seus julgamentos.

3.4 A fronteira entre a abordagem *soft* e *hard* de apoio a decisão

De acordo com Clímaco *et al.* (2004), no fim da década de 1960, os métodos quantitativos tradicionais da Pesquisa Operacional (PO) não puderam, isoladamente, revelar-se adequados a muitos problemas, devido à crescente complexidade do ambiente econômico e social e à carência da adoção de procedimentos de planejamento e gestão da inovação.

Segundo os autores, como reação às fragilidades da PO clássica surgiu a chamada PO *soft*, que presta especial atenção aos aspectos qualitativos e marcadamente subjetivos dos processos de decisão. A PO torna-se uma metodologia de abordagem de problemas

complexos de decisão e as técnicas da PO, ferramentas potenciais dessa metodologia. As alternativas são desenvolvidas a partir de princípios filosóficos e teóricos e de práticas científicas diversas. Isso é um reflexo da tendência atual de se considerar que, em muitos casos, o conjunto das alternativas é evolutivo ao longo do processo de decisão. A aprendizagem e, conseqüente, criação de novas alternativas contrapõe-se à visão estática do conjunto das ações, definido *a priori*, à montante do processo de escolha.

De forma geral, Rosenhead (2004) faz a seguinte comparação entre as abordagens:

	Abordagem <i>Soft</i>	Abordagem <i>Hard</i>
Definição do problema	Vista com complexidade, pluralista	Vista como direta, unitária
Organização	Requer negociação	Assumida tacitamente
Modelo	Uma forma de gerar debate e <i>insight</i> a respeito do mundo real	Uma representação do mundo real
Resultado	Progresso através da aprendizagem	Um produto ou recomendação

De acordo com Kotiadis e Mingers (2006), o desenvolvimento e uso da abordagem *soft*, por meio dos métodos de estruturação de problemas (PSMs), tiveram grande êxito, sendo atualmente discutido o surgimento de benefícios significativos da combinação de diferentes metodologias, chamada de multimetodologia, a qual consiste simplesmente em combinar PSMs com técnicas mais tradicionais da PO *hard*.

Destaca-se que a estruturação de problemas utilizando mapas cognitivos, por exemplo, (primordial sempre que não se conhece bem - *a priori* – a situação enfrentada), apesar de ser um instrumento típico da PO *soft*, começa a tomar consciência de que a utilização de matemática *hard*, como conceitos de grafos, pode dar grande apoio à sua operacionalização e, além disso, por vezes são utilizados em conjunto com métodos mais tradicionais da PO, fazendo-se apelo a Sistemas Interativos de Apoio a Decisão cada vez mais avançados. Percebe-se, então, que a linha de fronteira entre a PO *hard* e a *soft* é completamente artificial (CLÍMACO *et al.*, 2004).

De acordo com Gomes *et al.* (2002), a principal função dos métodos da PO *soft* é estruturar os problemas antes de tentar resolvê-los, sem requerer dos usuários um conhecimento matemático de alto nível. Eles estruturam eventos ou resultados que os participantes declaram relevantes, o que torna possível identifica-los, sem obrigatoriamente associar números sobre seus significados.

Dessa forma, a metodologia multicritério de apoio a decisão encara o processo decisório como sendo composto por duas grandes etapas: estruturação e avaliação.

Na etapa de estruturação, de acordo com Bana e Costa (1988), é realizada a identificação e caracterização dos principais atores intervenientes bem como a explicitação das alternativas de decisão potenciais que se pretendem comparar entre si, em termos de

vantagens e desvantagens relativas, em face de um conjunto de critérios de avaliação, definidos de acordo com os pontos de vista dos atores. Em termos gerais, essa etapa trata da formulação do problema e da identificação do objetivo central do processo de avaliação.

A etapa de avaliação, também chamada de fase de síntese, tem como finalidade esclarecer a “escolha”, recorrendo à aplicação de métodos multicritério para apoiar a modelização das preferências dos atores e a sua agregação. A Figura 3.4 apresenta um esquema de relacionamento entre as etapas do processo de apoio a decisão.

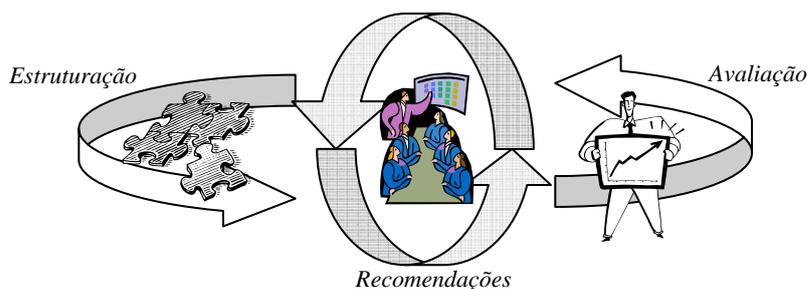


Figura 3.4 – Esquema de relacionamento entre as etapas do processo decisório
Fonte: Autora (2006)

As setas traduzem a idéia de que é possível transitar entre as etapas durante todo o tempo, e o círculo central indica que não é necessário existir uma delimitação precisa entre elas. Essas etapas são fundamentais ao processo decisório, diferenciadas, mas intrinsecamente ligadas.

3.5 Comentários finais sobre este capítulo

Vários foram os modelos apresentados neste capítulo. A princípio, foi realizado um estudo das técnicas e modelagens mais recorrentes na literatura atual, relacionados ao controle de perdas. Posteriormente, o estudo enfocou o apoio a decisão em grupo, analisando os métodos de estruturação de problemas, os métodos multicritério e especialmente as formas de agregação das preferências individuais, a fim de se chegar a uma tomada de decisão em grupo.

Com relação às perdas nos sistemas de abastecimento de água, pode-se constatar que esse problema, de grande relevância para a sociedade atual, é tratado de forma a incorporar aspectos preponderantemente técnicos, como altas pressões na rede de distribuição, localização de válvulas medidoras, minimização de volume de vazamentos de acordo com a demanda, dentre outros. Esses estudos são, obviamente, de grande importância para a comunidade técnica-acadêmica, porém percebe-se a necessidade da incorporação de outros aspectos, especialmente quando se trata da elaboração de um planejamento estratégico para o controle das perdas.

Com base nos estudos realizados, é bastante claro que, quando se pensa em incorporação de vários aspectos, o problema se torna cada vez mais complexo e passa a envolver várias entidades, governamentais ou não, com uma forte influência em outras áreas além da técnica, tais como ambiental, social e política.

Assim, um outro ponto que foi estudado neste capítulo foi o apoio a decisão multicritério em grupo, discutindo como estão sendo tratados pela literatura os problemas dessa natureza.

Inicialmente, o que se percebeu foi que a abordagem de estruturação de problemas vem ganhando cada vez mais espaço na área de pesquisa operacional. Com base nos estudos apresentados neste capítulo, isso se deve principalmente ao fato de que tal abordagem melhora consideravelmente o entendimento do problema, a partir da junção e interação entre vários especialistas que estão interessados na resolução ou minimização de alguma dificuldade. Isso faz com que novas opiniões fluam de acordo com os conhecimentos de cada um, e a discussão sobre os diferentes pontos de vista ou percepções de conseqüências faz com que haja um ambiente bastante propício à geração de idéias.

Nesse sentido, a estruturação de problemas busca desenvolver recomendações sobre a abordagem construtivista, procurando no decorrer do processo e junto com os atores construir um modelo formalizado que permitirá a evolução do processo de apoio a decisão, em concordância com os objetivos e o sistema de valores dos atores. Essa abordagem parece ser adequada quando se está lidando com problemas organizacionais, considerando-se o aprendizado gerado, e será utilizada no modelo proposto nesta tese.

Outro aspecto importante apresentado neste capítulo foram os métodos multicritério para auxiliar grupos de pessoas a tomar decisões, sendo discutidos os procedimentos para a aplicação de tais métodos. Como todos eles pregam a agregação de preferências, esse ponto foi especialmente ressaltado. Foram analisadas as formas de agregação mais utilizadas, tanto aquelas baseadas na agregação de julgamentos individuais, como as das prioridades individuais resultantes.

Percebe-se que a forma da agregação vai depender da maneira como o grupo trabalha e dos objetivos de seus integrantes. Caso o grupo trabalhe com sinergia, unido de maneira a pensar como uma unidade, a forma considerada a mais adequada é a agregação de julgamentos individuais, e quando o grupo está reunido apenas para tomar a decisão, cada componente agindo de acordo com seus próprios interesses e sistemas de valores, a agregação deve basear-se no resultado das prioridades dos participantes.

Como no problema do planejamento estratégico para o controle de perdas de água cada um dos participantes envolvidos interpreta a situação de forma diferente e tende a considerar as suas opiniões e perspectivas de forma imperativa, a tomada de decisão deve ser fruto da análise das prioridades resultantes dos construtos pessoais.

Por isso, será utilizada neste trabalho a agregação das prioridades individuais baseada em métodos multicritério de sobreclassificação adequados à problemática de ordenação, em que se procuram considerar as interpretações individuais de cada membro do grupo. É importante destacar que os problemas de ordenação podem ser separados em duas categorias básicas: ordinais e cardinais. A formulação da ordenação cardinal surge nas situações em que o indivíduo é capaz não somente de expressar a preferência de uma alternativa em relação a outra, mas também o grau da preferência. A ordinal não expressa esse grau de preferência.

Como foi apresentado neste capítulo, vários são os modelos propostos para a agregação das preferências, por meio de votos, considerando-se apenas a ordinalidade entre as alternativas, avaliando as distâncias ordinais com intensidade de preferência (intervalos), com o uso da informação cardinal das alternativas, dentre outros critérios. Entretanto, o que pode ser observado é que nenhum desses métodos avalia a questão da satisfação da ordenação inicial de cada membro do grupo com relação à ordenação final apresentada.

A partir desses estudos e constatações, será elaborada uma proposta de análise das prioridades individuais para gerar uma tomada de decisão em grupo baseada na satisfação dos decisores com relação à sua ordenação inicial, pretendendo-se maximizar o grau de contentamento de todos os decisores envolvidos no processo.

No estudo apresentado neste capítulo, também foi dada atenção à forma como os decisores são avaliados. Tipicamente, na literatura, assume-se que todos os membros têm a mesma importância relativa. Entretanto, em muitas situações da vida real, os membros normalmente têm reconhecida habilidade e atributos, ou posições privilegiadas de poder. Faz-se necessário, então, que seja considerada uma forma de atribuição de pesos aos decisores em análise, já que em situações, como a do problema em questão, é clara a existência de diferença de poder entre eles.

Nesse sentido, nos próximos capítulos são apresentados uma proposta de análise das prioridades individuais, que incorpora a relativa importância entre os decisores, e um modelo de decisão multicritério em grupo, que utiliza a abordagem de estruturação de problemas para a geração de alternativas, e uma proposta de análise das preferências individuais para a obtenção da decisão final.

4. PROPOSTA DE ANÁLISE DAS PRIORIDADES INDIVIDUAIS PARA ESCOLHA EM GRUPO

O problema em estudo, planejamento estratégico para o controle de perdas em sistemas de abastecimento de água, é caracterizado como sendo uma tomada de decisão em grupo, em que várias organizações estão envolvidas no processo (concessionária da água, agência de meio ambiente, técnico-projetistas, comunidade beneficiária, além de políticos com interesses diversos, dentre outros).

Tais organizações, quando juntas para uma tomada de decisão, expõem seus interesses e percepções diferentes do problema. Conforme foi estudado no capítulo anterior, essa forma de decisão é baseada numa conjunção de indivíduos que agem separadamente, e não em uma decisão em que o grupo se une de maneira a formar um “novo decisor” com a idéia do consenso. Embora todos tenham como meta comum a redução das perdas de água, cada um tem interesses específicos e necessitam ser avaliados de forma completa. De acordo com Forman e Peniwati (1998), em situações dessa natureza, a fim de garantir que todas as preferências sejam levadas em consideração, é mais indicado que seja realizada uma agregação das prioridades individuais. Sendo assim, será essa então, a forma de agregação utilizada neste trabalho.

Nesse contexto e tendo em vista o que foi exposto na revisão bibliográfica, várias são as formas existentes de agregação das preferências individuais. Os sistemas de votação constituem uma maneira de se chegar a uma “preferência social” muito utilizada (SALES, 2005), pois o voto é uma das alternativas para solucionar os casos em que a decisão a ser tomada implica um conflito de interesses entre os indivíduos do grupo. Baseados nos sistemas de votação, foram desenvolvidos os clássicos métodos de Borda (1781) e Condorcet (1785). Enquanto Borda faz uma contagem relacionada com a classificação das alternativas de acordo com as preferências de cada participante, Condorcet faz uma comparação par a par das alternativas, verificando qual delas foi a preferida para a maioria dos decisores. De forma geral, o método de Condorcet é considerado mais justo por avaliar as relações entre as alternativas, porém tem a desvantagem de conduzir a situações de intransitividade. Já a contagem de Borda apresenta a desvantagem de não ser independente das alternativas irrelevantes, ou seja, a retirada de uma alternativa pode levar a modificações na ordenação relativa de outras alternativas.

Uma outra forma de agregação são os métodos de sobreclassificação, tais como o ELECTRE, por exemplo, que faz uma comparação entre os pares de alternativas baseada nas

noções de concordância e discordância. As relações de sobreclassificação são construídas de tal forma que uma alternativa é tão boa quanto outra, se uma maioria suficiente de critérios (decisores), considerando-se a sua importância, apóia essa proposição (princípio da concordância), e a oposição da minoria não é considerada suficientemente forte para discordar dessa proposição (ROY, 1996). Esse método é análogo ao método de Condorcet, desde que todos os critérios tenham o mesmo peso e não haja veto ou discordância.

Além dessas, existem várias outras abordagens baseadas nas diferenças ordinais e cardinais dos *rankings* individuais. Porém, verifica-se que os resultados podem eventualmente variar conforme o método adotado. Tal variação acaba por permitir uma desconfiança por parte dos membros do grupo, devido à dúvida gerada em relação a qual método seria o mais adequado para ser utilizado, aquele que merecerá a sua confiança.

De acordo com o Teorema de Arrow (1950), não há regras de decisão coletiva perfeitas enquanto não forem satisfeitas as seguintes condições: unanimidade, não-ditadura, transitividade, não-restrição das preferências e independência em relação às alternativas irrelevantes.

Diante desse contexto e partindo-se da idéia de que uma decisão em grupo deve ser entendida como uma junção dos interesses dos indivíduos, entende-se que o propósito do resultado final é permitir a maximização da satisfação dos membros do grupo de modo geral. Assim, pode ser considerado como o melhor resultado aquele que garantir uma maior quantidade de decisores satisfeitos. Essa satisfação está relacionada com a adequação do resultado final à intenção individual.

Porém, o que se percebe nos estudos realizados é que a maioria dos modelos de agregação utiliza a problemática de ordenação como sendo o resultado final, deixando a desejar os casos em que a problemática é de escolha. O que se costuma fazer é utilizar a primeira alternativa do *ranking* final obtido como sendo uma forma de representar a escolha do grupo. Entretanto, essa não é uma maneira adequada de tratar o problema, tendo em vista que ela pode gerar a insatisfação de alguns membros do grupo e o descontentamento com relação à ordem da alternativa classificada individualmente como a principal.

Esse questionamento é especialmente devido à racionalidade da decisão coletiva, que ocorre a partir da exibição de uma intransitividade após serem analisadas as preferências do grupo, com base nas preferências individuais transitivas (do mesmo modo que a racionalidade do indivíduo é questionada quando ele exibe uma intransitividade em suas preferências).

Nessa concepção, este capítulo propõe um método de análise das prioridades individuais, trabalhando a problemática de escolha. Assim, será obtido como resultado final

da decisão do grupo a escolha da alternativa que represente a intenção coletiva, baseada na posição em que as alternativas se classificaram perante os pontos de vista individuais, de forma a permitir uma maior quantidade de decisores satisfeitos com o resultado final.

Esse método proposto de Análise das Prioridades Individuais para Escolha em Grupo é uma das contribuições deste trabalho. É construído por meio de quatro etapas de exploração, as quais serão explicitadas a seguir.

4.1 Formalização da proposta

O modelo de tomada de decisão em grupo para o planejamento estratégico do controle de perdas, proposto mais adiante neste trabalho, analisará as prioridades individuais de cada decisor envolvido no processo por meio de um método de sobreclassificação adequado à problemática de ordenação, o que possibilitará cada participante avaliar o problema com base nas alternativas e critérios comuns ao grupo. Dessa forma, caso nenhuma das alternativas seja escolhida simultaneamente por todos os decisores, faz-se necessário utilizar alguma ferramenta que possibilite a análise das prioridades individuais, no sentido de se encontrar a alternativa que seja considerada a mais adequada para resolver o problema de acordo com os pontos de vista de todos os membros do grupo.

O procedimento para utilizar essa proposta é composto por quatro etapas de exploração, conforme está ilustrado na Figura 4.1, que apresenta o fluxograma do método proposto.

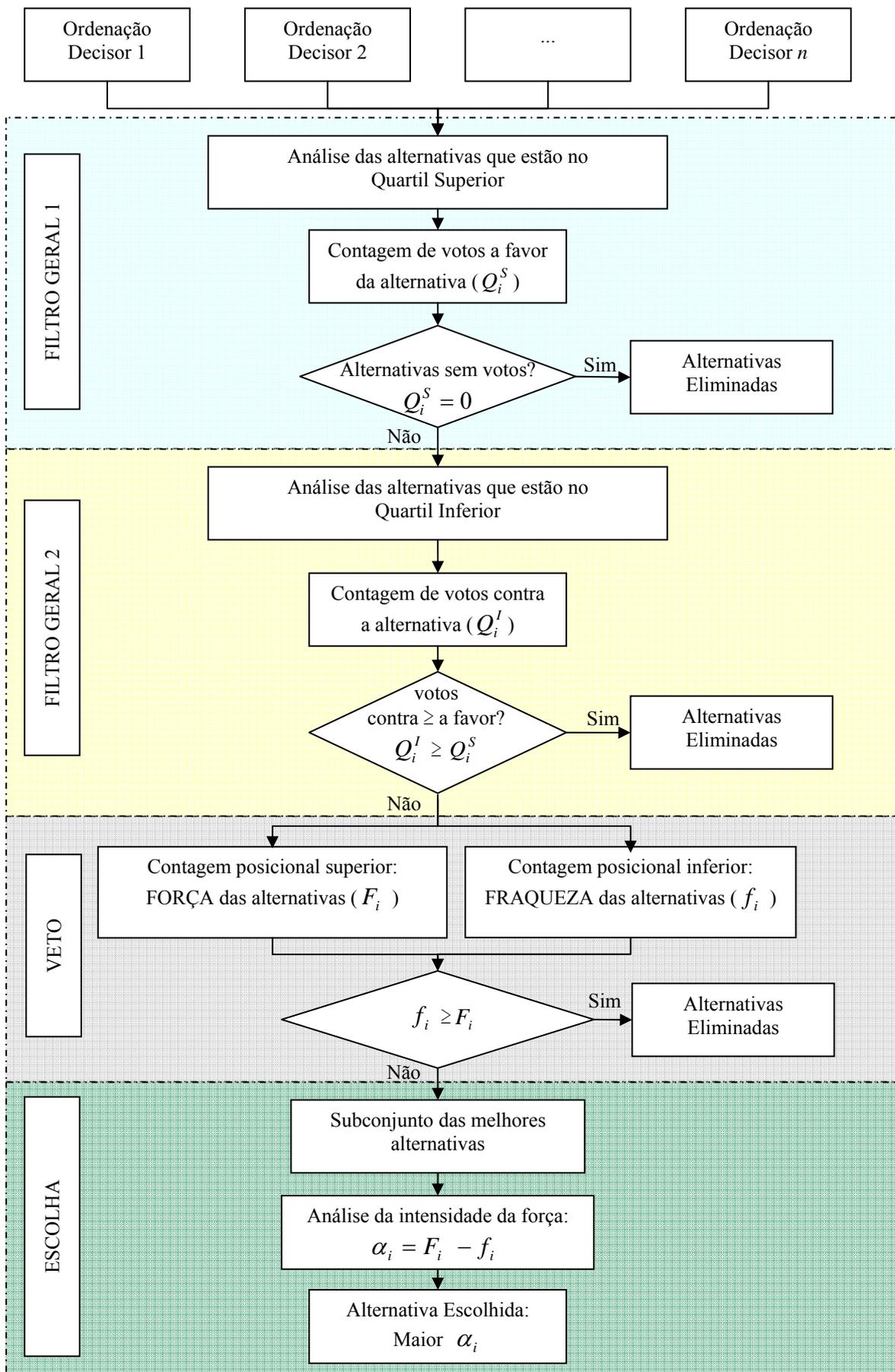


Figura 4.1 – Fluxograma do método proposto
 Fonte: Autora (2006)

A primeira etapa consiste em criar um conjunto das alternativas consideradas de ordem superior. Isso é feito com a separação por quartis. Como se sabe, os quartis permitem dividir a distribuição em quatro partes iguais em relação ao número de observações. Essas medidas são utilizadas por conveniência, quando se deseja eliminar os valores extremos observados, ou quando se deseja examinar certos segmentos da distribuição compreendidos entre os valores-limites de classe mencionados.

Assim, os dados são sumarizados pela análise das alternativas constantes no quartil superior. Essa separatriz divide o conjunto ordenado das alternativas em duas partes tais que 1/4 ou 25% das alternativas estejam ordenadas numa posição superior, e os restantes 3/4 ou 75% estejam numa posição inferior. O elemento que indica a posição do quartil superior é determinado pela seguinte expressão: $n/4$, em que n é o número de alternativas ordenadas. A Tabela 4.1 apresenta um exemplo de sumarização das alternativas ordenadas com o uso da separatriz – quartil superior.

Tabela 4.1 – Exemplo da sumarização das alternativas (Quartil Superior)

ORDEM	ALTERNATIVA
1º.	D
2º.	E
3º.	C
4º.	A
5º.	B
6º.	G
7º.	F
8º.	H

Quartil Superior ↑

Fonte: Autora (2006)

Para $n = 8 \rightarrow n/4 = 2$, então a 2ª. posição divide a ordenação, sendo os 1º. e 2º. lugares os 25% dos dados com valores superiores.

Aquelas alternativas que estão no quartil superior seriam, teoricamente as alternativas mais apropriadas para a execução, sendo a tradução da idéia coletiva para um planejamento estratégico.

Ainda como parte dessa primeira etapa, deve-se fazer a contagem de quantos decisores preferiram as alternativas que ficaram no quartil superior. São eliminadas as alternativas que não obtiveram votos, ou seja, aquelas que não apareceram entre as melhores (no conjunto do quartil superior).

Sendo Q_i^S a quantidade de vezes que a alternativa i aparece no quartil superior, representando a quantidade de votos que essa alternativa tem para estar entre as melhores, tem-se que:

$$Q_i^S = \sum_{k=1}^m q_{ik}^S \tag{4.1}$$

Sendo $q_{ik}^S = \begin{cases} 1, & \text{se a alternativa } i \text{ está no quartil superior para o decisor } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

em que i são as alternativas e k são os decisores que variam de 1 a m ($k = 1, 2, \dots, m$).

Finaliza-se a primeira filtragem das alternativas eliminando aquelas que não foram consideradas por nenhum dos decisores, ou seja, $Q_i^S = 0$.

Parte-se, então, para a segunda etapa da exploração, na qual é feita uma análise inversa, por meio do conjunto de alternativas que compõem o quartil inferior. A separatriz do quartil inferior é indicada pelo elemento na posição determinada pela seguinte expressão: $3n/4$, ou seja, divide o conjunto ordenado das alternativas em duas partes tais que 25% das alternativas estejam ordenadas numa posição inferior e os restantes 75% estejam numa posição inferior. A Tabela 4.2 apresenta um exemplo de sumarização das alternativas ordenadas com o do uso da separatriz – quartil inferior. Percebe-se que o conjunto das alternativas do quartil inferior é composto pelas alternativas que estão abaixo da posição $3n/4$, ou seja, a partir da posição $(3n/4 + 1)$.

Tabela 4.2 – Exemplo da sumarização das alternativas (Quartil Inferior)

ORDEM	ALTERNATIVA
1º.	D
2º.	E
3º.	C
4º.	A
5º.	B
6º.	G
7º.	F
8º.	H

Quartil Inferior ↓

Fonte: Autora (2006)

Deve-se fazer a contagem de quantos decisores são contra as alternativas. Sendo Q_i^I a quantidade de vezes que a alternativa i aparece no quartil inferior, representando a quantidade de votos que essa alternativa tem para estar entre as piores, tem-se que:

$$Q_i^I = \sum_{k=1}^m q_{ik}^I \tag{4.2}$$

Sendo $q_{ik}^I = \begin{cases} 1, & \text{se a alternativa } i \text{ está no quartil inferior para o decisor } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

em que i são as alternativas e k são os decisores que variam de 1 a m ($k = 1, 2, \dots, m$).

São eliminadas as alternativas com mais votos contra do que a favor, ou seja, $Q_i^I \geq Q_i^S$.

As alternativas que passaram por esses dois primeiros filtros partem para a terceira etapa da exploração, na qual é realizada uma contagem posicional das alternativas, baseada no método Borda (1781), *apud* Cook (2006). Esse método atribui um valor correspondente a cada posição na ordenação, de forma que se adiciona 1 ponto quando se passa de uma posição para a imediatamente superior.

Entretanto, o método aqui proposto analisa apenas a situação das alternativas que estão nos quartis superior e inferior. Assim, a cada posição da avaliação é atribuído um número de pontos, diferentemente do método de Borda. Nesse caso tem-se: 1 para a última posição (limite do quartil superior: $n/4$), 2 para a penúltima posição, ..., $n/4$ para a primeira posição. Os pontos ganhos por cada alternativa são totalizados e as alternativas obtêm uma pontuação chamada de Força da Alternativa, F_i , dada por:

$$F_i = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^{\frac{n}{4}} \left(\frac{n}{4} - j + 1 \right) q_{ij}^k \quad (4.3)$$

Sendo $q_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{se a alternativa } i \text{ está na posição } j \text{ para o decisor } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

em que i são as alternativas, j são as posições variando do 1º. lugar até a posição limite do quartil superior $n/4$, para todos os k decisores, variando de 1 a m ($k = 1, 2, \dots, m$).

Por exemplo, a Força da Alternativa A é dada pelo seguinte somatório:

$$F_A = \left(\frac{n}{4} \right) (q_{A1^o}^1 + q_{A1^o}^2 + \dots + q_{A1^o}^m) + \left(\frac{n}{4} - 1 \right) (q_{A2^o}^1 + \dots + q_{A2^o}^m) + \dots + (1) (q_{A\left(\frac{n}{4}\right)^o}^1 + \dots + q_{A\left(\frac{n}{4}\right)^o}^m)$$

De forma análoga à contagem posicional superior, é feita a contagem posicional inferior, sendo que a cada posição da avaliação é atribuído um número de pontos de forma inversa, pois devem-se considerar pontos maiores para as alternativas com as piores colocações, garantindo-se assim que as alternativas mais fracas tenham um maior acúmulo de pontos, ou seja, os votos contra o seu favoritismo. Então, nesse caso, tem-se a seguinte atribuição de pontos: $n/4$ para a última posição (n -ésima), $(n/4 - 1)$, para a penúltima posição, ..., 1 para a primeira posição (limite do quartil inferior, dada pela posição $(3n/4 + 1)$). Os pontos ganhos por cada alternativa são totalizados e as alternativas obtêm uma pontuação chamada de Fraqueza da Alternativa, f_i , dada por:

$$f_i = \sum_{k=1}^m \sum_{j=\left(\frac{3n}{4}+1\right)}^n \left(j - \frac{3n}{4} \right) q_{ij}^k \quad (4.4)$$

Sendo $q_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{se a alternativa } i \text{ está na posição } j \text{ para o decisor } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

em que i são as alternativas, j são as posições variando da 1ª. posição do quartil inferior $(3n/4 + 1)$ até a última posição do ranking (n -ésima), para todos os k decisores, variando de 1 a m ($k = 1, 2, \dots, m$).

Por exemplo, a Fraqueza da Alternativa A é dada pelo seguinte somatório:

$$f_A = (1)\left(q_{A\left(\frac{3n}{4}+1\right)}^1 + \dots + q_{A\left(\frac{3n}{4}+1\right)}^m\right) + (2)\left(q_{A\left(\frac{3n}{4}+2\right)}^1 + \dots + q_{A\left(\frac{3n}{4}+2\right)}^m\right) + \dots + \left(\frac{n}{4}\right)\left(q_{A_n}^1 + \dots + q_{A_n}^m\right)$$

A partir desses dados, será realizada uma terceira filtragem chamada de veto, partindo da idéia do ELECTRE (ROY, 1985), em que as alternativas são também avaliadas pelo índice de discordância, para checar se existe uma oposição muito alta à alternativa por estar bem classificada.

Segundo Roy (1996), nos métodos da família ELECTRE um critério é dito discordante, $D(a, b)$, se não está de acordo com a proposição a sobreclassifica b , devendo-se investigar se a intensidade dessa discordância, ou seja, das forças que se opõem à proposição aSb , é suficiente para rejeitá-la. Leva-se, então, ao limiar de veto, uma idéia que permeia não um desempenho específico de uma ação em um critério, $g_i(a)$ mas a diferença de preferências entre $g_i(a)$ e $g_i(b)$.

Assim, esse veto confere se existe uma oposição muito alta em relação à alternativa selecionada pela segunda filtragem, que tem a intenção de eliminar as alternativas classificadas como piores para a maioria dos decisores, mediante a análise da Força e da Fraqueza das Alternativas, ou seja, uma análise posicional das alternativas que estão nos quartis superior e inferior.

Caso $f_i \geq F_i$, pode-se afirmar que há uma oposição alta para que a alternativa esteja considerada entre as melhores, então a alternativa é eliminada. Nessa fase, pode-se também inserir um limiar de veto mais restritivo, a depender do decisor, da seguinte forma:

$$f_i \geq \beta F_i$$

em que β representa o percentual do valor de f_i em relação a F_i que os decisores estão dispostos a aceitar. Esse valor de β deve ser discutido entre o analista e o Supradecisor (ator especial com autoridade para estabelecer regras para o grupo de decisores).

Por exemplo, se uma alternativa tem as melhores colocações consideradas por alguns decisores, mas ao mesmo tempo é considerada como pior com relação a outros decisores, sendo classificada em colocações significativamente piores que as consideradas no quartil

superior, é provável que essa alternativa passe no filtro 2, mas não no filtro de veto. Só quando a alternativa passa nos três filtros é que se pode afirmar que a alternativa traduz um sentimento coletivo, ou seja, é considerada uma boa alternativa com relação a todos os decisores.

A quarta e última etapa da exploração busca avaliar se existe uma oposição à alternativa selecionada. Essa análise é necessária, tendo em vista que alguma alternativa pode ter uma quantidade grande de votos no quartil superior, porém esteja classificada no limite do quartil superior, por exemplo. Analisando-se o desempenho dessa alternativa no quartil inferior, ela pode aparecer em último lugar para o restante dos decisores, não representando a alternativa mais desejável pela maioria dos decisores.

Finaliza-se o procedimento, quando se seleciona a alternativa que apresentar o maior número de pontos. Essa análise da intensidade da força da alternativa é dada pela expressão: $\alpha_i = F_i - f_i$, sendo escolhida a alternativa que apresentar o maior α_i .

Ainda assim, no caso de haver empates, pode ser feita uma análise par a par dessas alternativas, a fim de analisar qual é preferida de todos os decisores.

A seguir, é apresentado um exemplo numérico da aplicação desse método.

4.1.1 Exemplo numérico de aplicação da proposta

Para ilustrar numericamente a proposta de agregação baseada nas ordenações individuais a fim de obter uma escolha em grupo, é apresentado um exemplo em que um grupo de doze decisores ($D_1, D_2, D_3, \dots, D_{12}$) avaliam doze alternativas (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L) em um dado contexto decisório. A Tabela 4.3 apresenta a matriz dos resultados das prioridades individuais, de acordo com as preferências de cada decisor.

Tabela 4.3 – Avaliação das alternativas pelos decisores

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
1º.	G	E	J	H	F	E	F	C	G	B	F	E
2º.	E	I	B	B	K	H	B	B	J	H	E	J
3º.	D	J	H	F	H	L	L	J	C	C	H	B
4º.	L	L	D	J	D	I	D	L	K	L	J	A
5º.	J	F	E	D	E	K	A	E	D	E	B	D
6º.	H	D	K	A	L	F	J	K	F	K	D	H
7º.	C	K	A	E	J	B	K	H	I	J	C	C
8º.	F	H	I	L	C	G	H	I	A	I	I	F
9º.	I	G	F	C	A	D	G	A	L	F	K	I
10º.	A	B	L	K	G	C	I	G	E	A	A	K
11º.	K	C	C	I	I	J	C	F	H	D	L	L
12º.	B	A	G	G	B	A	E	D	B	G	G	G

Fonte: Autora (2006)

De acordo com a primeira etapa da proposta, devem ser analisadas as alternativas que compõem o quartil superior. Tem-se que o número de alternativas $n = 12$, então:

$$\text{Separatriz - Quartil Superior} = \frac{n}{4} = \frac{12}{4} = 3$$

$$\text{Separatriz - Quartil Inferior} = \frac{3n}{4} = \frac{3 * 12}{4} = 9$$

Assim, a Tabela 4.4 apresenta o conjunto das alternativas nos quartis superior e inferior.

Tabela 4.4 – Divisão das classes (Quartis Superior e Inferior)

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	
1º.	G	E	J	H	F	E	F	C	G	B	F	E	Quartil Superior ↑
2º.	E	I	B	B	K	H	B	B	J	H	E	J	
3º.	D	J	H	F	H	L	L	J	C	C	H	B	
4º.	L	L	D	J	D	I	D	L	K	L	J	A	Quartil Inferior ↓
5º.	J	F	E	D	E	K	A	E	D	E	B	D	
6º.	H	D	K	A	L	F	J	K	F	K	D	H	
7º.	C	K	A	E	J	B	K	H	I	J	C	C	
8º.	F	H	I	L	C	G	H	I	A	I	I	F	
9º.	I	G	F	C	A	D	G	A	L	F	K	I	
10º.	A	B	L	K	G	C	I	G	E	A	A	K	
11º.	K	C	C	I	I	J	C	F	H	D	L	L	
12º.	B	A	G	G	B	A	E	D	B	G	G	G	

Fonte: Autora (2006)

Filtro 1: calcula-se a quantidade de decisores que são a favor de cada umas das alternativas (Q_i^S), o que é dado pela equação (4.1). A Tabela 4.5 apresenta essa quantidade de vezes em que a alternativa i aparece no quartil superior.

Tabela 4.5 – Votos (quantidade de decisores) a favor das melhores alternativas (Q_i^S) – Quartil Superior

i	Q_i^S	
A	0	← Eliminar!
B	6	
C	3	
D	1	
E	5	
F	4	
G	2	
H	6	
I	1	
J	5	
K	1	
L	2	

Fonte: Autora (2006)

Completa-se o filtro 1 eliminando-se as alternativas que não estão contidas no quartil superior. Elimina-se a alternativa A.

Filtro 2: calcula-se a quantidade de decisores que são contra cada umas das alternativas (Q_i^I), o que é dado pela equação (4.2). A Tabela 4.6 apresenta essa quantidade de vezes em que a alternativa i aparece no quartil superior.

Tabela 4.6 – Votos (quantidade de decisores) contra as alternativas (Q_i^I) – Quartil Inferior

i	Q_i^I
B	4
C	4
D	2
E	2
F	1
G	7
H	1
I	3
J	1
K	3
L	3

Fonte: Autora (2006)

Completa-se o filtro 2 eliminando-se as alternativas que com $Q_i^I \geq Q_i^S$, o que representa, mais decisores contra do que a favor da alternativa. Eliminam-se as alternativas C, D, G, I, K e L.

As alternativas restantes passam para a contagem da força posicional, por meio da equação (4.3 e 4.4). A Tabela 4.7 e a Tabela 4.8 apresentam os valores obtidos de F_i e f_i , respectivamente.

Tabela 4.7 – Contagem posicional superior: força das alternativas (F_i)

ALTERNATIVAS	q_{ij}^k			F_i
	$j = 1^o.$	$j = 2^o.$	$j = 3^o.$	
	$\binom{12}{4} = 3$	$\binom{12-1}{4} = 2$	$\binom{12-2}{4} = 1$	
B	1	4	1	12
E	3	2	0	13
F	3	0	1	10
H	1	2	3	10
J	1	2	2	9

Fonte: Autora (2006)

Tabela 4.8 – Contagem posicional inferior: fraqueza das alternativas (f_i)

ALTERNATIVAS	q_{ij}^k			f_i
	$j = 10^\circ$	$j = 11^\circ$	$j = 12^\circ$	
	$\left(10 - \left(\frac{3 \cdot 12}{4}\right)\right) = 1$	$\left(11 - \left(\frac{3 \cdot 12}{4}\right)\right) = 2$	$\left(12 - \left(\frac{3 \cdot 12}{4}\right)\right) = 3$	
B	1	0	3	10
E	1	0	1	4
F	0	1	0	2
H	0	1	0	2
J	0	1	0	2

Fonte: Autora (2006)

Analisando a relação entre a Força e a Fraqueza das Alternativas ($f_i \geq F_i$), observa-se que todas as alternativas passaram nessa etapa, porém, caso os decisores preferam, pode-se considerar um limiar de veto mais restritivo nessa fase. Por exemplo, se $\beta = 50\%$, só passam as alternativas que possuírem um valor representativo de Força duas vezes maior que o valor da Fraqueza. No caso estudado, a alternativa B seria eliminada com esse veto mais restritivo, pois $F_i = 12$, enquanto $f_i = 10$.

O que se pretende nessa análise é conferir se existe uma oposição muito alta à alternativa. Esse filtro tem a intenção de eliminar as alternativas que são classificadas como piores para a maioria dos decisores, mediante a análise do conjunto que compõe os quartis superior e inferior, a partir da contagem posicional.

Ao passar por essa fase, faz-se então a análise da intensidade da força das alternativas, ou seja, $\alpha_i = F_i - f_i$. Seleciona-se a alternativa que apresentar o maior número de pontos, ou seja, maior α .

Verifica-se que a alternativa E apresenta a melhor performance entre as alternativas restantes, sendo $\alpha_E = 9$.

Diante da metodologia exposta, pode-se comparar os resultados obtidos com a regra da maioria (Tabela 4.9), a contagem de Borda (Fonte: Autora (2006)

Tabela 4.10) e o método baseado na distância ordinal (Fonte: Autora (2006)

Tabela 4.11), tendo em vista que são métodos que utilizam apenas a informação da ordenação, forma a que está se procedendo com o método ora proposto. Metodologias que usam outro tipo de informação não servem como base para comparações.

Tabela 4.9 – Resultado pela Regra da Maioria

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	-	3	4	3	3	3	8	3	5	1	4	5
B	9	-	8	8	5	5	8	5	7	5	7	7
C	8	4	-	3	4	5	7	2	8	3	7	5
D	9	4	9	-	5	4	8	5	8	4	7	7
E	9	7	8	7	-	7	9	7	10	7	9	8
F	9	7	7	8	5	-	9	5	7	5	7	7
G	4	4	5	4	3	3	-	2	4	3	2	2
H	9	7	10	7	5	7	10	-	10	5	7	7
I	7	5	4	4	2	5	8	2	-	2	5	5
J	11	7	9	8	5	7	9	7	10	-	9	7
K	8	5	5	5	3	5	10	5	7	3	-	5
L	7	5	7	5	4	5	10	5	7	5	7	-

Ordem	
1º.	E
2º.	J
3º.	H
4º.	F
5º.	B
6º.	D
7º.	L
8º.	C
9º.	K
10º.	I
11º.	A
12º.	G

Fonte: Autora (2006)

Tabela 4.10 – Resultado pela Contagem de Borda

	1º.	2º.	3º.	4º.	5º.	6º.	7º.	8º.	9º.	10º.	11º.	12º.	SOMA
	x 11	x 10	x 9	x 8	x 7	x 6	x 5	x 4	x 3	x 2	x 1	x 0	
A	-	-	-	8	7	6	5	4	6	6	-	-	-
B	11	40	9	-	7	-	5	-	-	2	-	-	11
C	11	-	18	-	-	-	15	4	3	2	3	-	11
D	-	-	9	24	21	12	-	-	3	-	1	-	-
E	33	20	-	-	28	-	5	-	-	2	-	-	33
F	33	-	9	-	7	12	-	8	6	-	1	-	33
G	22	-	-	-	-	-	-	4	6	4	-	-	22
H	11	20	27	-	-	12	5	8	-	-	1	-	11
I	-	10	-	8	-	-	5	16	6	2	2	-	-
J	11	20	18	16	7	6	10	-	-	-	1	-	11
K	-	10	-	8	7	18	10	-	3	4	1	-	-
L	-	-	18	32	-	6	-	4	3	2	2	-	-

Ordem	
1º.	J
2º.	E
3º.	H
4º.	F
5º.	B
6º.	D
7º.	L
8º.	K
9º.	C
10º.	I
11º.	A
12º.	G

Fonte: Autora (2006)

Tabela 4.11 – Resultado baseado nas distâncias ordinais, conforme equação (3.14)

d _{ik}	1º.	2º.	3º.	4º.	5º.	6º.	7º.	8º.	9º.	10º.	11º.	12º.
A	90	78	66	54	44	36	30	26	24	26	34	42
B	58	48	46	46	46	48	50	54	58	62	68	74
C	76	66	56	50	44	38	32	32	34	38	44	56
D	62	50	38	28	24	26	32	38	44	52	60	70
E	44	38	36	34	32	38	44	52	60	68	78	88
F	56	50	44	40	36	34	36	38	44	54	64	76
G	96	88	80	72	64	56	48	40	34	32	34	36
H	48	38	32	32	32	32	36	42	52	62	72	84
I	83	71	61	51	43	35	27	21	23	29	37	49
J	43	33	27	25	27	31	37	47	57	67	77	89
K	71	59	49	39	31	25	25	29	33	39	49	61
L	65	53	41	33	33	33	35	37	41	47	55	67

Fonte: Autora (2006)

Continuação da Tabela 4.11 - Resultado da programação linear baseado nas distâncias ordinais

Xik	1º.	2º.	3º.	4º.	5º.	6º.	7º.	8º.	9º.	10º.	11º.	12º.	ORDEM	
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1º.	E
B	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2º.	B
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3º.	H
D	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	4º.	J
E	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5º.	D
F	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	6º.	F
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7º.	K
H	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8º.	L
I	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	9º.	I
J	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	10º.	A
K	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	11º.	C
L	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	12º.	G

Fonte: Autora (2006)

A Tabela 4.12 apresenta o resumo dos resultados das comparações realizadas. Percebe-se que, dependendo do método aplicado, poderá existir a dúvida se a alternativa que melhor se classifica é a E ou a J. Porém, ao se analisarem essas duas alternativas separadamente, conforme está apresentado na Figura 4.2, é possível observar que a alternativa E possui uma performance de ordenação melhor que a J, sendo preferível de acordo com sete decisores (D1, D2, D5, D6, D10, D11 e D12). Assim, o método proposto de Análise das Prioridades Individuais para Escolha em grupo, ao selecionar a alternativa E, apresenta-se bastante apropriado para a problemática de escolha, garantindo uma maior quantidade de decisores satisfeitos com o resultado final.

Tabela 4.12 – Resumo dos resultados da comparação

ORDEM	REGRA DA MAIORIA	CONTAGEM DE BORDA	DISTÂNCIA DAS ORDENAÇÕES
1º.	E	J	E
2º.	J	E	B
3º.	H	H	H
4º.	F	F	J
5º.	B	B	D
6º.	D	D	F
7º.	L	L	K
8º.	C	K	L
9º.	K	C	I
10º.	I	I	A
11º.	A	A	C
12º.	G	G	G

Fonte: Autora (2006)

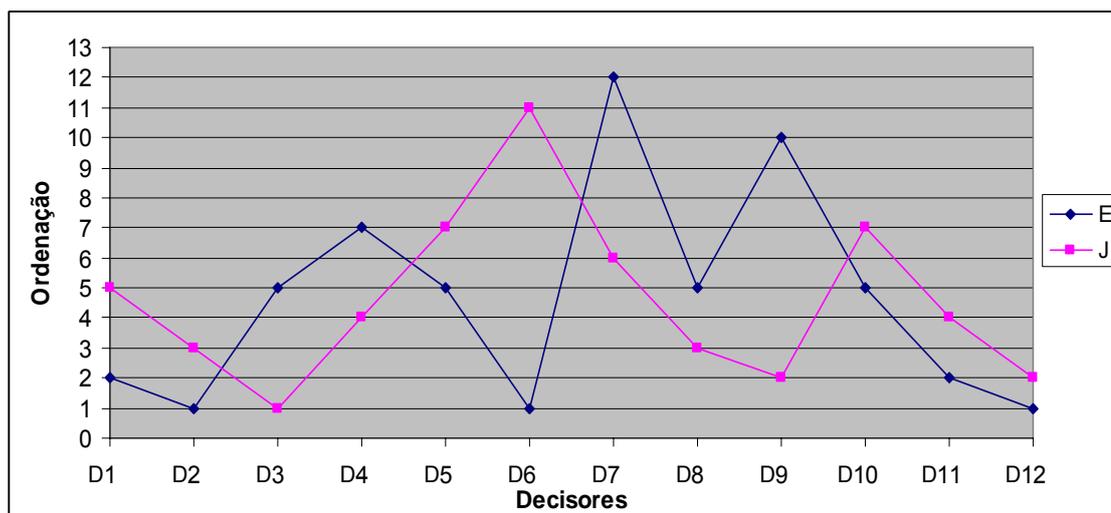


Figura 4.2 – Ilustração da performance da ordenação da alternativa E com relação a J para todos os decisores
Fonte: Autora (2006)

4.2 Extensão da proposta para incorporar a importância relativa entre os decisores

Como já foi exposto no capítulo da revisão bibliográfica, a maioria dos métodos de agregação das ordenações tem como uma das suas limitações a não-integração da importância relativa entre os decisores no processo. Entretanto, em muitas situações reais, não é ideal que todos os decisores sejam considerados da mesma forma.

No modelo para a tomada de decisão em grupo para o planejamento estratégico de controle de perdas a ser proposto, é necessário que seja considerado que os decisores tenham pesos diferentes, ou seja, existe uma clara importância relativa entre eles. Isso se dá devido a um conhecimento mais específico acerca de um assunto ou devido a uma reconhecida competência para lidar com o problema.

Por isso, serão incorporados os pesos dos decisores à proposta de análise das preferências individuais para a escolha em grupo.

O método tem a mesma estrutura do anteriormente apresentado, porém, na contagem de quantos decisores preferiram as alternativas, considera-se o peso dos decisores e não a unidade. Assim, a diferença em relação ao procedimento anterior está em considerar que:

$$q_{ik}^S = \begin{cases} w^k, & \text{se a alternativa } i \text{ está no quartil superior para o decisor } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$q_{ik}^I = \begin{cases} w^k, & \text{se a alternativa } i \text{ está no quartil inferior para o decisor } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Da mesma forma, na contagem posicional deve ser considerado o peso dos decisores e não as unidades:

$$q_{ij}^k = \begin{cases} w^k, & \text{se a alternativa } i \text{ está na posição } j \text{ para o decisor } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

em que w^k representa o peso do decisor k , sendo $\sum_{k=1}^m w^k = 1, \quad k = (1, 2, \dots, m)$.

Segue-se então com o desenvolvimento do procedimento de forma análoga.

A seguir, é apresentado um exemplo numérico da aplicação desse método, com a incorporação dos pesos dos decisores.

4.2.1 Exemplo numérico de aplicação da proposta incorporando o peso dos decisores

Para ilustrar numericamente a proposta de agregação baseada nas ordenações individuais a fim de obter uma escolha em grupo, incorporando a importância relativa entre os decisores, é apresentado o mesmo exemplo anteriormente exposto, considerando-se os seguintes pesos para os decisores:

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12
0,10	0,05	0,05	0,15	0,17	0,05	0,10	0,05	0,15	0,03	0,05	0,05

Considerando-se a mesma Tabela 4.3 de ordenação por decisor, passa-se para o Filtro 1: quando se calcula o somatório dos pesos dos decisores que são a favor de cada umas das alternativas (Q_i^S), o que é dado pela equação (4.1). A Tabela 4.13 apresenta o resultado desse somatório.

Tabela 4.13 – Quantidade de decisores (considerando-se seus respectivos pesos) a favor das melhores alternativas (Q_i^S) – Quartil Superior

i	Q_i^F
A	0
B	0,43
C	0,23
D	0,10
E	0,30
F	0,47
G	0,25
H	0,50
I	0,05
J	0,35
K	0,17
L	0,15

← Eliminar!

Fonte: Autora (2006)

Completa-se o filtro 1 eliminando-se as alternativas que não estão contidas no quartil superior. Elimina-se a alternativa A.

Filtro 2: calcula-se o somatório dos pesos dos decisores que são contra cada umas das alternativas (Q_i^I), que é dado pela equação (4.2). A Tabela 4.14 apresenta o resultado desse somatório.

Tabela 4.14 – Quantidade de decisores (considerando-se seus respectivos pesos) contra as alternativas (Q_i^I) – Quartil Inferior

<i>i</i>	Q_i^I
B	0,47
C	0,25
D	0,08
E	0,25
F	0,05
G	0,55
H	0,15
I	0,42
J	0,05
K	0,30
L	0,15

Fonte: Autora (2006)

Completa-se o filtro 2 eliminando-se as alternativas que com $Q_i^I \geq Q_i^S$, o que representa que os decisores com maiores pesos são mais contra do que a favor da alternativa. Eliminam-se as alternativas B, C, G, I, K e L.

As alternativas restantes passam para a contagem da força posicional, por meio da equação (4.3 e 4.4). As Tabelas 4.15 e 4.16 apresentam os valores obtidos de F_i e f_i , respectivamente.

Tabela 4.15 – Contagem posicional superior: força das alternativas (F_i)

ALTERNATIVAS	q_{ij}^k			F_i
	$j = 1^\circ$ $\left(\frac{12}{4}\right) = 3$	$j = 2^\circ$ $\left(\frac{12}{4} - 1\right) = 2$	$j = 3^\circ$ $\left(\frac{12}{4} - 2\right) = 1$	
D	-	-	0,10	0,10
E	0,15	0,15	-	0,75
F	0,32	-	0,15	1,11
H	0,15	0,08	0,27	0,88
J	0,05	0,20	0,10	0,65
L	-	-	0,15	0,15

Fonte: Autora (2006)

Tabela 4.16 – Contagem posicional inferior: fraqueza das alternativas (f_i)

ALTERNATIVAS	q_{ij}^k			f_i
	$j = 10^\circ$.	$j = 11^\circ$.	$j = 12^\circ$.	
	$\left(10 - \left(\frac{3 \cdot 12}{4}\right)\right) = 1$	$\left(11 - \left(\frac{3 \cdot 12}{4}\right)\right) = 2$	$\left(12 - \left(\frac{3 \cdot 12}{4}\right)\right) = 3$	
D	0,00	0,03	0,05	0,21
E	0,15	0,00	0,10	0,45
F	0,00	0,05	0,00	0,10
H	0,00	0,15	0,00	0,30
J	0,00	0,05	0,00	0,10
L	0,05	0,10	0,00	0,25

Fonte: Autora (2006)

Analisando a relação entre a Força e a Fraqueza das Alternativas ($f_i \geq \beta F_i$), e considerando-se $\beta = 50\%$, observa-se que as alternativas D, E e L devem ser eliminadas.

As alternativas fortes restantes (F, H e J) passam para a última fase, na qual é feita uma análise da intensidade da força das alternativas, ou seja, $\alpha_i = F_i - f_i$. Seleciona-se a alternativa que apresentar o maior número de pontos, ou seja, maior α . Nesse caso, verifica-se que a alternativa F não possui uma forte oposição à sua classificação no grupo das melhores, apresentando a melhor performance entre as alternativas restantes, sendo $\alpha_F = 1,01$.

4.3 Comentários finais sobre este capítulo

Este capítulo apresentou uma proposta para uma escolha em grupo, baseada nas prioridades individuais, a fim de auxiliar os decisores a chegarem a uma solução que eles julguem adequada, o que permite uma maior quantidade de membros envolvidos no processo satisfeitos com o resultado final. Essa proposta considera que cada indivíduo do grupo interpreta de forma diferente uma dada situação, o que pode gerar modelos decisórios diferentes. Assim, essa proposta tem início a partir das ordenações obtidas pelos decisores, possibilitando que cada participante avalie o problema com base nas alternativas e critérios comuns ao grupo.

As principais vantagens desse método proposto são:

- √ Compreensível e de fácil utilização, visto que é de rápida e intuitiva aplicação por parte dos participantes;
- √ Consegue incorporar a vantagem que uma alternativa tem sobre outra em relação à ordem;
- √ É um método destinado à problemática de escolha. Como foi visto na revisão da literatura, poucos são os métodos que tratam dessa problemática, pois a maioria dos

procedimentos de agregação gera preferências coletivas expressas na problemática de ordenação;

- √ Para a obtenção das ordenações individuais, que serão utilizadas como dados de entrada para o método, o analista pode optar pela utilização do método de sobreclassificação mais adequado à problemática de ordenação;
- √ Sua aplicação não requer necessariamente que todos os decisores estejam presentes simultaneamente numa reunião. A reunião seria necessária numa fase anterior à aplicação do método para a idealização das alternativas e a avaliação de quais critérios devem ser considerados. O fato de não ser necessário juntar todos os decisores em muitas reuniões é particularmente útil no caso de decisores separados por grandes distâncias geográficas, ou no caso de pessoas que tenham agenda de compromissos com pouca flexibilidade para marcar encontros;
- √ Incorpora no procedimento a relativa importância entre os decisores (pesos).

Como todos os outros métodos e técnicas de agregação de preferências para a decisão em grupo, o método aqui proposto também apresenta algumas desvantagens. A principal, é que não considera a intensidade de preferência de uma alternativa quanto às outras, ou seja, durante a ordenação, o decisor pode classificar uma determinada alternativa como sendo superior a outra, porém a diferença de preferência pode ser ínfima.

5. MODELO DE DECISÃO EM GRUPO PARA REDUÇÃO DE PERDAS

Este capítulo aborda o processo de tomada de decisão em grupo para a redução de perdas de água em sistemas de abastecimento com uma visão multicritério, incorporando a abordagem de estruturação de problemas como meio de geração de idéias e melhoria do processo de aprendizagem entre todos os membros envolvidos.

Primeiramente, é necessário ter em mente que o setor de abastecimento de água, como qualquer outro de utilidade básica, faz parte de um cenário caracterizado por fortes pressões dos *stakeholders*, além do convívio com pesadas restrições ambientais e financeiras. Isso faz com que essas companhias estejam em constante busca de inovações, especialmente com relação à redução de perdas de água, o que é capaz de gerar um impacto positivo na sociedade e proporcionar um funcionamento mais adequado para a empresa, pois a minimização das perdas garantirá a redução de seus custos operacionais e, conseqüentemente, a ampliação dos seus lucros.

Entretanto, a questão da escolha de processos que minimizem as perdas de água é um dos principais problemas enfrentados pelos responsáveis pelo setor. Em geral, a decisão de qual sistema de redução escolher acaba passando por interesses não-corporativos, como pressões políticas e ganhos financeiros, porque faltam aos decisores, na grande maioria dos casos, instrumentos adequados para a análise de todos os fatores que realmente devem ser considerados.

É importante notar que o processo de tomada de decisão em uma empresa de abastecimento de água pode influenciar diretamente a vida de milhares de pessoas. Então, é necessário que tais decisões sejam corretamente direcionadas e não sofram desvios de qualquer espécie.

Desse modo, devido ao aumento da complexidade dos problemas com que se deparam as organizações atualmente, têm-se tornado essencial o suporte dado por algum método que as ajude a atingir os seus objetivos da forma mais adequada, e, simultaneamente, melhorar o seu desempenho. Para isso, a abordagem multicritério vem sendo usada nas mais diversas áreas do conhecimento (MORAIS; ALMEIDA, 2003; BRANS; MARESCHAL, 2002; ÜLENGIN *et al.*, 2001; RAJU; KUMAR, 1999; VINCKE, 1992). Com relação aos usos múltiplos da água e ao gerenciamento de recursos hídricos em termos de demanda, é crescente a utilização da abordagem multicritério, porém, em se tratando do planejamento de ações para o controle

das perdas de água em sistemas de abastecimento, não foi encontrado na literatura estudada nenhum modelo que tratasse esse problema em um contexto de grupo.

Desse modo, é apresentado a seguir um modelo multicritério para a tomada de decisão em grupo, o qual permite avaliar importantes critérios relacionados a vários aspectos e tratar os conflitos existentes entre eles, com a finalidade de elaborar um planejamento estratégico para o controle de perdas em sistemas de abastecimento de água, considerando as preferências de cada decisor envolvido no processo. Tal modelo possibilita aos decisores uma discussão mais aprofundada sobre o conjunto das ações potenciais, permitindo-lhes uma avaliação mais completa à luz de vários critérios.

5.1 Descrição do modelo

Não foi encontrado na literatura nenhum modelo formal que permita direcionar os esforços dos agentes envolvidos no planejamento estratégico para o controle de perdas em sistemas de abastecimento, no sentido de proporcionar melhorias nos aspectos financeiros, técnicos, sociais e ambientais, ao minimizar os gastos na produção da água e seu volume perdido.

Até o momento, o envolvimento entre os atores se dá por meio de reuniões mal estruturadas, nas quais é comum não se chegar a alguma solução concreta, pois os interesses de cada um deles são, em muitos casos, conflituosos, partindo para um processo de escolha puramente econômico/financeiro, muitas vezes levando apenas em consideração indicadores políticos.

Observa-se, portanto, que tal tipo de análise pode não ser suficiente para a tomada de decisões, pois deixa de contemplar diversos itens de natureza subjetiva, altamente relevantes, tanto para a empresa como para a sociedade. Além disso, diante de um problema dessa magnitude, que atinge milhares de pessoas, é largamente reconhecido que não deve haver um simples decisor; ao contrário, o processo de debate entre os diferentes atores envolvidos não deve ser dispensado.

Reforçando essa idéia, Pahl-Wostl (2002) concluiu que, atualmente, há um crescente interesse para que haja uma participação pública no domínio do gerenciamento dos recursos hídricos, o que permite aos vários possíveis *stakeholders*, indivíduos ou organizações, interagirem no processo de decisão e contribuírem com seus conhecimentos. A importância dada ao compartilhamento do processo decisório no gerenciamento da água deriva da preocupação da abordagem tradicional da engenharia ao tratar de problemas complexos e não-estruturados, muitas vezes levando a resultados controversos, indesejáveis ou de forte

oposição entre os atores, quando os mesmos não são envolvidos na definição e avaliação das alternativas.

De acordo com Kaner (1996), *apud* Antunes e Ho (2001), um modelo de decisão engloba a realização de um conjunto de atividades específicas, por meio de quatro zonas de decisão distintas no tempo: zonas divergente, de clarificação, convergente e de decisão. Baseado no modelo de Kaner, porém adaptando-o à realidade do problema, é apresentado na Figura 5.1, o esquema geral do processo de decisão conforme está proposto neste trabalho.

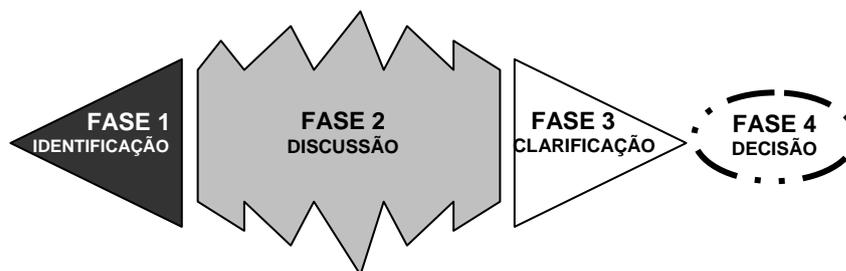


Figura 5.1 – Esquema geral do processo de decisão
Fonte: Autora (2006)

Esse modelo visa tratar a decisão em grupo em quatro fases. Na Fase 1 é realizada a identificação do problema. Na Fase 2 acontecem as discussões, quando é incorporada a abordagem de estruturação de problemas para a reunião de especialistas e demais atores envolvidos no processo, a fim de gerar idéias que se manifestam a partir das comparações com as percepções das outras pessoas, formando um rico panorama da situação, ajudando-os a conhecer melhor o problema. Nessa fase, são formuladas não só as possíveis alternativas de solução como também os critérios que devem ser levados em consideração. Na Fase 3 ocorre a clarificação do problema, quando é realizada uma avaliação multicritério de forma individual de todos os membros do grupo, ou seja, todos os decisores estão diante de uma mesma matriz de alternativas x critérios, mas fazem a avaliação de acordo com seus próprios sistemas de valores, considerando os seus interesses específicos e a sua finalidade ao integrar o grupo. Enfim, na Fase 4 é obtida uma decisão final por meio do método de análise das preferências individuais, proposto neste trabalho, baseado na problemática de escolha, com a finalidade da melhoria da qualidade da infra-estrutura básica e preservação da água.

A organização do modelo proposto é apresentada na Figura 5.2 de forma detalhada por fases do processo. A evolução das etapas consiste nas percepções do decisor em um processo dinâmico. Cada fase do processo engloba uma ou mais ações e padrões de desenvolvimento que permitem chegar aos objetivos pretendidos. Assim, na Figura 5.2 são sumarizados os objetivos, os dados de entrada e as ferramentas para implementar cada fase.

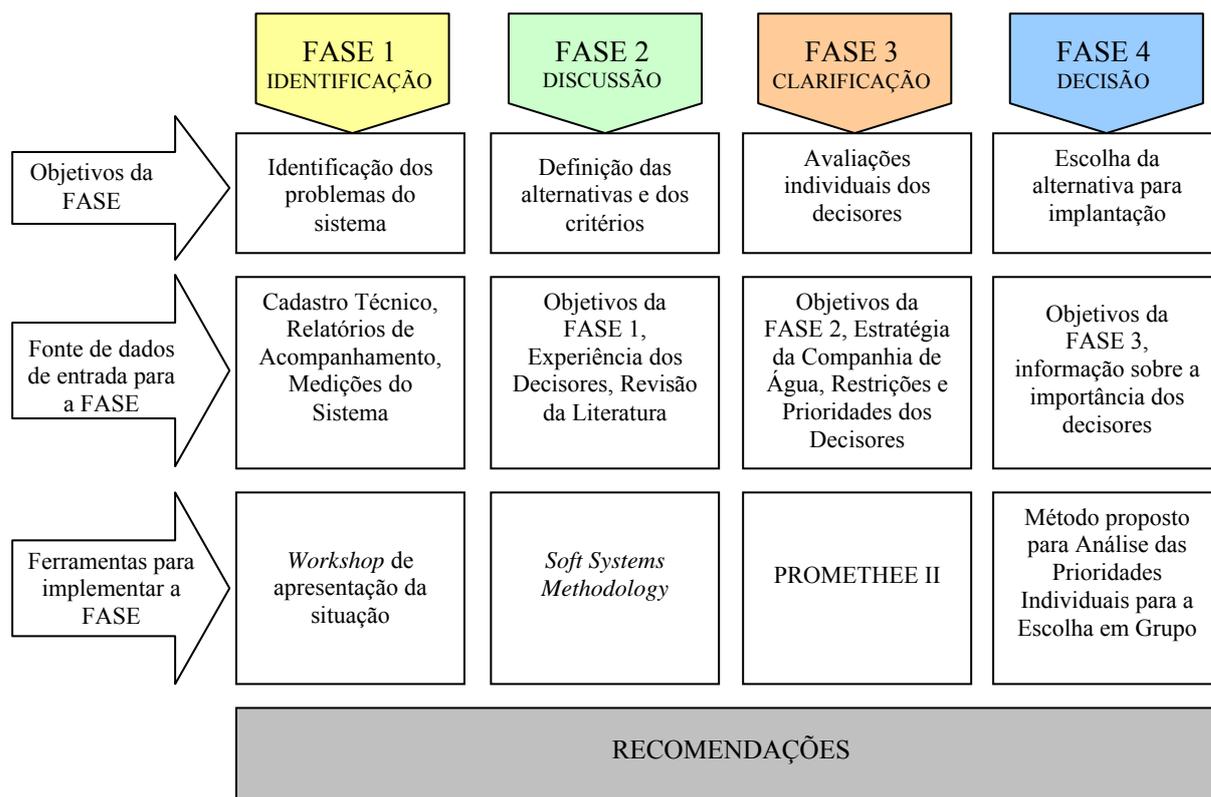


Figura 5.2 – Esquema detalhado por fases do modelo proposto
 Fonte: Autora (2006)

Acompanhando todas as fases, percebe-se que existe o processo de recomendações, o que torna dinâmica a evolução do modelo em termos de aprendizagem sobre as percepções do problema entre os decisores. A cada fase são geradas recomendações que servem para a fase seguinte e, conseqüentemente, para todo o restante do processo. São avaliados os interesses e as preferências dos decisores, modelando-os e explorando-os para gerar idéias e permitir revisões de julgamentos de outros decisores, até que mais nenhuma nova idéia apareça sobre o problema. Esse processo interativo facilita o rápido ciclo de aprendizagem e compreensão e até mesmo de possíveis mudanças no ponto de vista subjetivo dos decisores.

Como uma seqüência de procedimentos, é apresentado na Figura 5.3, o esquema proposto do modelo de decisão em grupo. É mister destacar que as setas bidirecionadas existentes entre o final de cada fase e as recomendações traduzem a idéia de que é possível transitar entre as etapas durante todo o tempo, e os quadros que destacam a estruturação e avaliação do problema indicam que não é necessário existir uma delimitação precisa entre elas. Essas etapas são fundamentais no processo decisório, diferenciadas mas intrinsecamente ligadas.

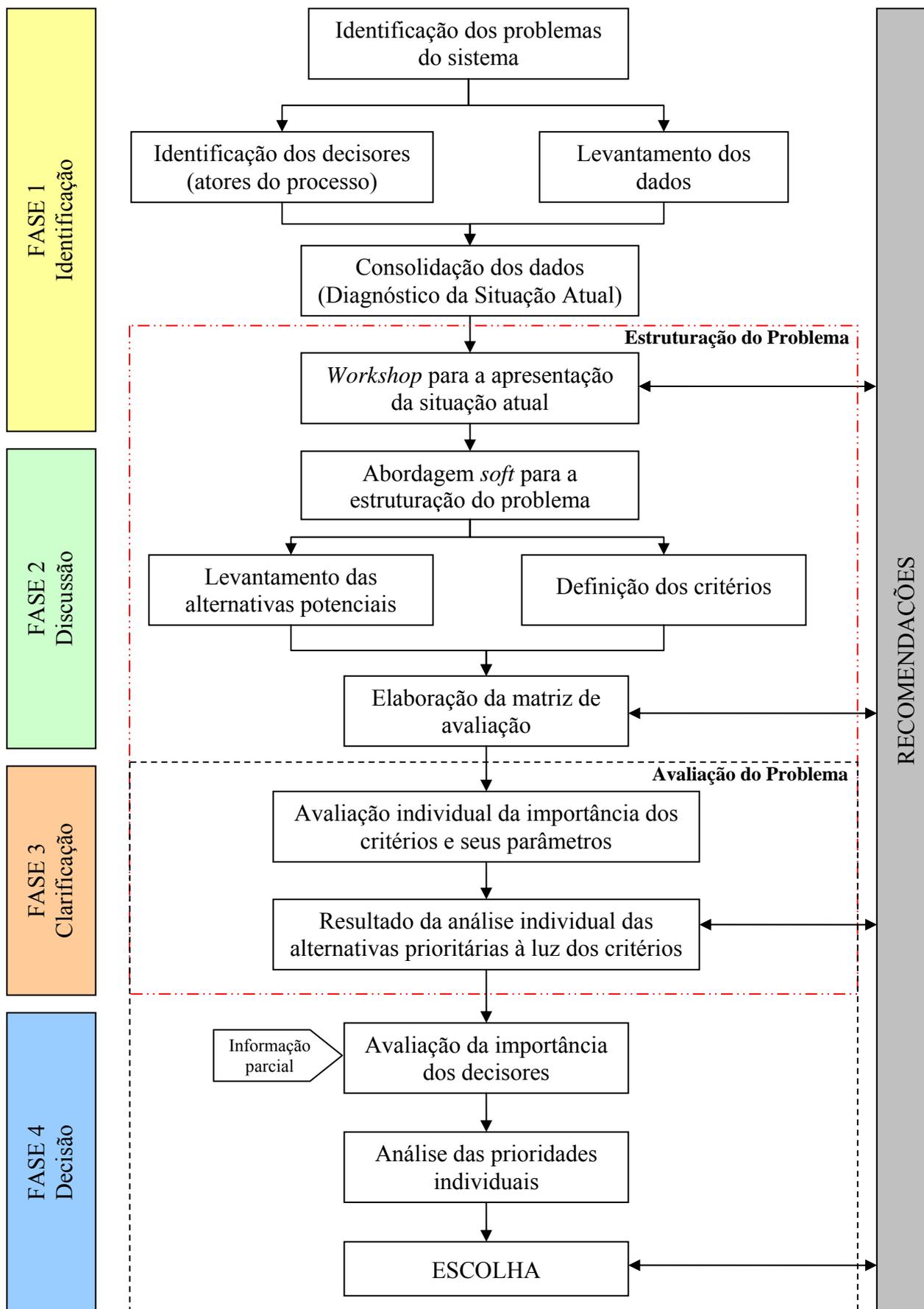


Figura 5.3 – Esquema do modelo proposto de decisão em grupo
 Fonte: Autora (2006)

As fases que compõem o modelo são descritas a seguir.

5.1.1 FASE 1: Identificação dos problemas do sistema

A fase de identificação dos problemas do sistema representa a complexidade da situação e incorpora elementos julgados relevantes para o processo decisório. Assim, nessa fase são identificados os decisores, ou seja, os atores envolvidos no processo, bem como é realizado um levantamento dos dados do sistema.

- Identificação dos decisores

Pode-se considerar como ator de um processo decisório um indivíduo ou um grupo de pessoas que, por meio de seus sistemas de valores, influencia direta ou indiretamente na decisão (ROY, 1996). Os decisores, de maneira geral, são aqueles indivíduos/instituições que estabelecem os limites do problema, especificam os objetivos a serem alcançados e emitem julgamentos.

Em muitas situações, principalmente nas questões referentes à administração pública, não existem decisores óbvios, tampouco processos de decisão totalmente claros. Os decisores aparecem como um conjunto de organizações que, por terem um objetivo comum, farão com que a atividade de apoio a decisão se desenvolva direcionada para seus interesses.

Há um ator especial (pode ser uma única pessoa ou um pequeno grupo) com autoridade para estabelecer regras e informações prioritárias para o grupo de decisores. Chama-se (KEENEY; RAIFFA, 1976) essa entidade de Supradecisores (*Supra Decision Maker - SDM*).

Existem também os "grupos de pressão", ou *stakeholders*, na terminologia adotada por Roy (1996), que, mesmo não tendo responsabilidade formal pela escolha, conseguem muitas vezes, por sua ação, participar ativamente do processo decisório. Além desses, existe o grupo dos terceiros, que são aqueles grupos que não participam ativamente do processo de decisão, mas são afetados pelas conseqüências, e suas preferências precisam ser consideradas durante o processo de decisão.

Outro ator importante é o analista/facilitador, que é o encarregado da "modelagem do processo decisório". O seu papel é explicar, justificar e recomendar, no entanto, de forma independente do seu próprio sistema de valor. O facilitador deve conduzir o encontro e moderar as discussões diretas entre os decisores e dar assistência ao grupo a fim de obter uma decisão tão eficiente quanto possível.

- Levantamento dos dados

Essa fase é necessária para a compreensão do problema, ao identificar as suas causas e limitações de solução. Para isso, é necessária uma interação com o real problema da cidade, em que se busca uma caracterização da mesma mediante informações que devem ser obtidas da concessionária de água, por meio do Cadastro Técnico, dos Relatórios de Acompanhamento, das Medições do Sistema, dentre outras formas.

Para identificar o problema, deverá ser diagnosticada a situação das perdas para o determinado sistema de abastecimento, por meio de uma coleta de informações básicas. O levantamento dos principais dados básicos referem-se a:

- Dados cadastrais: número de economias, ligações domiciliares, micromedições, população, extensão da rede implantada e a ser substituída;
- Volumes entregues e micromedidos;
- Informações sobre a vida útil dos equipamentos e o plano de manutenção para aferição e substituição;
- Informações sobre a quantidade de economias não-medidas e a quantidade de economias com consumo estimado;
- Informações sobre as condições administrativo-financeiras (se o sistema é ou não subsidiado, por exemplo);
- Informações sobre o nível de automação do sistema, na forma de instrumentos, equipamentos e aparelhos capazes de identificar perdas;
- Levantamento das pressões na rede a fim de identificar a necessidade de setorização ou implantação de válvulas redutoras de pressão, como forma de baixar a pressão na rede, diminuindo os vazamentos e estouramentos;
- Informações sobre o destino e a quantidade da água de lavagem das unidades de tratamento, assim como sua periodicidade, principalmente no que se refere à lavagem dos filtros.

Para que as informações tenham realmente valor no momento de uma decisão, elas precisam além da qualidade, ser atualizadas tecnologicamente e adequadas à decisão a ser tomada, para que se possam determinar as formas adequadas de controle de perdas que deverão ser desenvolvidas, a fim de melhorar o desempenho das organizações.

- Consolidação dos dados

Essa fase é realizada pelo Supradecisor juntamente com o analista/facilitador, quando todos os dados são trabalhados e consolidados, a fim de se elaborar um diagnóstico consistente da situação atual do sistema.

Segundo Checkland (2004), na abordagem do SSM (*Soft System Methodology*), informações são dados interpretados levando-se em consideração o contexto da aplicação. Essa interpretação é um ato humano que pode ser compartilhado por grupos de pessoas. Assim, os dados são objetos descritivos que através de um processo de transformação geram informação (Figura 5.4).

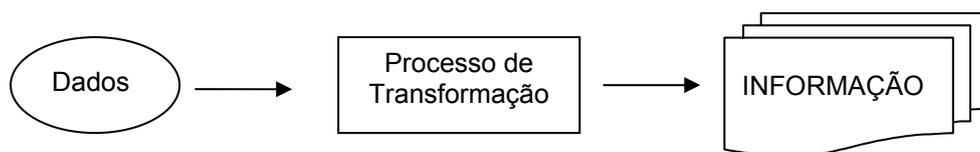


Figura 5.4 – Consolidação das informações
Fonte: Autora (2006)

- Workshop

Após a consolidação dos dados, deve ser feita uma apresentação, para todos os decisores, das informações coletadas e mostrar a real situação atual do sistema. Com a exposição dessas informações consolidadas, pode surgir algum comentário por parte dos decisores ou alguma idéia pode ser manifestada, as quais devem ser anotadas e guardadas para ser usadas ao longo do processo como recomendações. Aproveita-se esse estágio, em que todos os decisores estão reunidos e tomando conhecimento de forma mais aprofundada sobre a situação – problema, para dar início à Fase 2: Discussão.

5.1.2 FASE 2: Discussão

Essa fase é considerada a mais crítica de todo o processo e a que ocupará a maior parte do tempo. Tem como objetivo promover a compreensão mútua e ajudar o grupo a desenvolver um contexto comum. É aí que o facilitador deve tentar criar o máximo de oportunidades possíveis para que cada um dos participantes expresse as suas opiniões e pontos de vista, a fim de que no final da sessão sejam levantadas as alternativas, identificados os critérios e elaborada a matriz de avaliação (alternativas x critérios).

Essa fase é iniciada a partir do *workshop* da fase anterior, aproveitando-se a presença de todos os decisores, quando é aplicada a abordagem *soft* de pesquisa operacional. Pretende-se aqui elaborar uma estruturação do problema de forma adequada para que todos os indivíduos

participantes do processo entendam as percepções uns dos outros, tornando mais claro o entendimento do problema.

A sala para o *workshop* deve ser equipada com retroprojektor, projetor *datashow* e quadro branco, que devem estar disponíveis ao facilitador para exibir as informações ao grupo inteiro. Além disso, *postits*, *flip charts* e pincéis para quadro branco devem estar acessíveis aos decisores para que eles possam expressar suas idéias de forma simples e deixá-las expostas para todo o grupo.

Assim, essa etapa visa descobrir os pontos de vista e as percepções sobre o assunto de cada decisor e quais são as soluções alternativas satisfatórias na opinião deles; em outras palavras, visa descobrir o conhecimento de cada decisor sobre o assunto considerado.

Para estruturar esse conhecimento expresso pelos diferentes decisores, tornando-o compreensível a todos e funcional para o processo de decisão, é realizado um processo baseado no SSM (*Soft Systems Methodology*, ou Metodologia de Sistemas Suaves, em português). Conforme foi apresentado na base conceitual desta tese, o SSM é um método de identificação geral do problema e considerado um processo de aprendizagem (CHECKLAND, 2004).

Nessa fase, utiliza-se especialmente o modelo CATWOE do SSM, semelhante a um *checklist* para assegurar a inclusão dos elementos mais importantes das definições para as causas do problema em questão, com a seguinte formulação (CHECKLAND, 2004):

C – *customer*. Os clientes são as pessoas que se beneficiam do sistema.

A – *actors*. Os atores os profissionais que estão participando do planejamento.

T – *transformation process*. A transformação é o processamento dos *inputs* em *outputs*, dados em informações.

W – *world-view*. É a concepção do mundo. É um processo sistemático para questionar o mundo real, identificar os desafios a serem enfrentados e as mudanças necessárias.

O – *owner*. São as pessoas que têm poder de veto, nesse caso os Supradecisores.

E – *environmental*. São as restrições que influenciam no sistema, viabilidade orçamentária, na fidelização das informações, etc.

Esse modelo articula um processo organizado para melhorar a aprendizagem do problema, o que permite liberar o pensamento para trazer ao contexto ações que possam aperfeiçoar a situação problemática. Essa etapa é importante, pois não é eficaz simplesmente propor ações para o mundo real de uma forma genérica, deve-se promover debates entre os especialistas, a fim de descrever uma gama de interpretações que são relevantes para o processo, pois sempre haverá muitas alternativas possíveis, mas ou menos plausíveis, para o

controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. Assim, o aprendizado por meio de técnicas colaborativas, expressa as percepções mais relevantes de uma situação particular e gera um ambiente propício para a formulação de ações que sejam adequadas a situação analisada de uma determinada cidade em foco. A Figura 5.5 apresenta a estrutura do ciclo das atividades de aprendizagem para formulação das alternativas e definição dos critérios de avaliação.

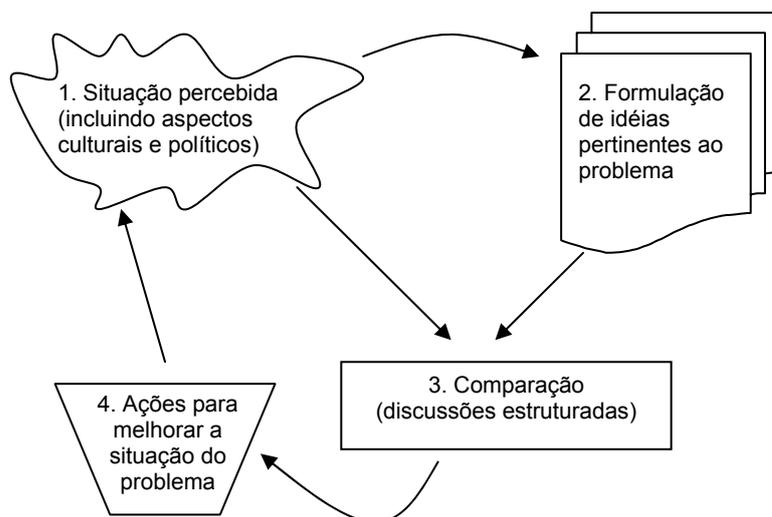


Figura 5.5 – Representação do formato básico do SSM
Adaptado de CHECKLAND, 2004

O propósito da comparação é prover uma estrutura de debate sobre as possíveis alternativas de solução, com enfoque nas diferentes características da cidade analisada, ou seja, comparar os modelos com a vida real. Devem ser levadas em consideração as experiências vividas pelos especialistas envolvidos no processo, com relação à implantação de determinadas alternativas em outras cidades.

Desse modo, as percepções individuais da situação-problema são registradas e debatidas e as conseqüências e explicações associadas às idéias são usadas pelos participantes para expressar o entendimento deles sobre a natureza do problema. Assim, os conceitos são unidos para formar uma rede de ações orientada para a argumentação.

- Levantamento das alternativas potenciais

O processo de identificação das alternativas requer criatividade significativa e conhecimento sobre a situação da decisão. Por meio de um *brainstorm*, o facilitador ajuda o grupo a explorar as alternativas possíveis e a sintetizá-las numa solução comum ou em várias soluções que sirvam aos interesses de todos os participantes.

Todos os decisores são convidados a formular possíveis alternativas usando o quadro branco, *fip chart* ou *postits* e a expressar suas opiniões. Para cada alternativa formulada, os

decisores devem argumentar sobre elas, explorando as vantagens e desvantagens da sua implantação. Essa é uma idéia baseada no conceito dos mapas cognitivos em que se deve ter uma razão para uma opinião, que é a motivação que conduz o decisor a expressar um juízo particular sobre uma alternativa.

Tal informação pode ser útil durante a fase de negociação entre as partes interessadas dando a todos os envolvidos um retrato preciso das visões adversárias.

Essa forma interativa de levantamento das alternativas estimula a criatividade e as idéias, promovendo um ambiente propício para a “geração de soluções” e a análise das conseqüências de qualquer decisão que pudesse ser tomada, explorando a subjetividade do decisor, suas restrições e prioridades.

- Identificação dos critérios

Durante o processo, os decisores são estimulados a identificar os possíveis critérios a serem utilizados, confrontando-se todos os decisores. É nessa etapa que se desenvolve um processo de troca de percepções entre os atores, o que permite uma ampliação do espectro de informações consideradas e um maior entendimento do contexto decisório.

Com o estabelecimento de critérios apropriados, espera-se determinar, dentre as possíveis ações, as que efetivamente são as mais indicadas para suprir as deficiências em estudo, considerando-se todos os fatores envolvidos no processo. Assim, deseja-se saber quais as ações que mais ajudariam no controle das perdas de água de modo a atender a todos os critérios em análise.

De acordo com Macharis *et al.* (1998), em decisões em grupo os decisores podem considerar critérios comuns ou individuais. Os critérios comuns são aqueles que são acordados por todos os decisores. Por exemplo, um aumento dos benefícios ambientais e uma redução dos impactos sociais são provavelmente critérios comuns para o problema de gerenciamento de recursos hídricos. Critérios individuais podem ser considerados por um ou vários decisores e não necessariamente pelo grupo inteiro, pois o gerente de uma concessionária de água não terá a mesma avaliação de critérios que um líder comunitário, por exemplo.

- Elaboração da matriz de avaliação

Nessa etapa, é apresentada aos decisores a matriz com as alternativas consideradas, em relação a todos os critérios comuns e individuais.

Para alguns critérios, é possível uma análise direta e sem contestação por parte dos decisores, sendo obtida por meio de estudos específicos para a sua mensuração, tais como custo, sendo considerado o seu valor monetário para a implantação da alternativa. Porém, para outros critérios, que não possuem uma escala clara de valores que pode ser utilizada como recurso de comparação e exigem análises subjetivas, são utilizadas as escalas de comparações verbais, as quais permitem aliar a simplicidade da análise a uma maior garantia de objetividade. No entanto, tal análise pode gerar conflito entre os decisores.

Assim, nessa fase admite-se que podem ocorrer duas situações:

- os decisores concordarem com as performances das alternativas em relação aos critérios, sendo os valores negociados livremente entre eles; ou,
- cada decisor faz a sua própria avaliação das performances.

Com a matriz de avaliação elaborada, parte-se para a fase seguinte de clarificação, em que os decisores fazem a avaliação individualmente.

5.1.3 FASE 3: Clarificação

A partir da fase de discussão, em que os decisores trabalharam em grupo para a definição das alternativas e dos critérios, como também avaliaram a performance dessas alternativas, está estruturado o problema para a aplicação do método multicritério.

De acordo com Gomes *et al.* (2002), a escolha do método a ser empregado depende do tipo de problema em análise, do contexto estudado, dos atores envolvidos, da estrutura de preferência e do tipo de resposta que se deseja alcançar, ou seja, qual a problemática de referência. Dessa forma, o problema em questão, nessa fase de avaliação, visa a uma priorização de alternativas de acordo com os critérios considerados, os quais requerem uma informação intercritério que corresponda à sua importância relativa. Para esses casos, freqüentemente se faz uso dos métodos da Escola Francesa, que utilizam a abordagem *outranking* (ROY, 1985).

Dentre os métodos baseados na relação de sobreclassificação, decidiu-se então selecionar o método PROMETHEE II para trabalhar essa problemática, que é a ordenação das alternativas, por sua vantagem em requerer uma informação adicional muito clara, que pode ser facilmente obtida e gerenciada tanto pelo decisor como pelo analista. Essa informação adicional, a noção de critério generalizado, é introduzida com a finalidade de captar a amplitude das diferenças entre as avaliações de cada um dos critérios, enriquecendo a estrutura de preferência. Além do mais, é um método flexível, pois oferece dois graus de liberdade ao decisor: o primeiro é relativo à seleção do tipo de função de preferência, e o segundo, aos limiares a definir (BRANS; MARESCHAL, 1994).

De forma geral, o PROMETHEE é de fácil entendimento, de modo que os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm um significado físico ou econômico de rápida assimilação pelo decisor. Assim, o método propicia a modelagem de preferência de forma simples e de fácil compreensão. Além disso, os métodos de sobreclassificação não admitem a compensação ilimitada de largas desvantagens e levam em conta o fato de que pequenas diferenças entre as avaliações das alternativas nem sempre são significativas (VINCKE, 1992).

Assim, o método PROMETHEE II deve ser aplicado com todos os decisores a fim de prover as avaliações sobre as prioridades individuais e, para isso, é necessário que cada decisor avalie a importância dos critérios e seus respectivos parâmetros.

- Avaliação individual da importância dos critérios e seus parâmetros

Uma vez elaborada a matriz de avaliação das alternativas em relação aos critérios, inicia-se a aplicação do método PROMETHEE II. Para isso, cada decisor, separadamente, precisa definir os pesos, sendo esses a importância relativa entre os critérios, e as funções de preferência para a análise de cada critério.

De acordo com o procedimento em grupo do PROMETHEE (MASCHARIS *et al.*, 1998), caso algum decisor considere que determinado critério não seja relevante, ele será avaliado com peso igual a zero. Isso significa que tais critérios não serão considerados na análise pessoal desse decisor. Além disso, deve ser associada a cada critério uma função de preferência para a comparação entre os pares de alternativas. Conseqüentemente, embora todos os decisores estejam avaliando a mesma matriz, as avaliações podem ser completamente diferentes, de acordo com o número de critérios ativos, as funções de preferência e os pesos distribuídos individualmente. Isso depende fortemente do interesse específico dos decisores, que deverão considerar pesos maiores para os critérios que representam sua preocupação em relação ao problema, sejam esses critérios técnicos, financeiros, sociais ou ambientais.

- Resultado da análise individual das alternativas prioritárias à luz dos critérios

O resultado da aplicação do método PROMETHEE II dá uma ordenação das alternativas, que representam as prioridades de cada um dos decisores. Assim, no final desse estágio, todos os decisores têm uma boa visão pessoal e um aprofundado conhecimento do problema. Os *rankings* finais de cada um são coletados e dispostos em uma matriz de avaliação global, com a finalidade de dar início à fase 4 do modelo.

5.1.4 FASE 4: Decisão

Essa fase tem por objetivo a escolha final da alternativa a ser implantada no sistema. Para a sua execução são necessárias as informações sobre as preferências dos decisores, devendo-se a princípio, estabelecer a relação de importância entre eles.

- Avaliação da importância dos decisores

Em situações como a do problema em questão, existe uma clara diferença de poder entre os decisores, devido a um conhecimento mais específico acerca de um assunto ou devido a uma reconhecida competência para lidar com o problema. Faz-se então necessário que seja considerada uma forma de atribuição dos respectivos pesos.

Nesse caso, os pesos dos decisores representam a sua importância relativa e permitem que as suas preferências tenham um maior ou menor impacto na decisão final. A fim de evitar que sejam dados valores a cada um dos agentes, considera-se para a entrada no modelo a informação parcial da ordenação dos decisores, a qual deverá ser elaborada pelo Supradecisor, juntamente com o analista/facilitador. O Supradecisor é considerado o ator especial com autoridade para estabelecer regras e informações prioritárias para o grupo, nesse caso, é o representante da concessionária de água, tendo em vista que será dela as obrigações de implantação, operação e manutenção do sistema de abastecimento de água.

Assim, é obtido um problema de programação linear com restrições, a partir dessa informação parcial (por exemplo, $P = \{p_1 \geq 2p_2, p_2 \leq p_3, p_3 = p_4, \dots\}$, o decisor 1 é duas vezes mais importante que o decisor 2, que é menos importante do que o decisor 3, que é igualmente importante como o decisor 4, e assim por diante).

- Análise das prioridades individuais

Nessa etapa do modelo faz-se uma análise das prioridades individuais para se chegar a uma solução que seja aceita pela maioria do grupo, mediante a ordenação das alternativas obtidas na fase de clarificação. Para isso, utiliza-se o método proposto no capítulo 4 desta tese, Análise das Prioridades Individuais para Escolha em Grupo.

As recomendações sugerem que haja discussões a todo momento, enriquecendo o processo decisório. Esse procedimento está de acordo com aquele adotado pelo caminho construtivista de apoio a decisão (ROY, 1996), onde o resultado final do processo decisório não é uma decisão apenas imposta pelo modelo, mas, uma recomendação da solução a ser adotada. Assim, um dos objetivos principais do modelo é fazer com que os membros do grupo possam entender melhor o contexto decisório (problema) e fazer um adequado planejamento estratégico do controle de perdas em sistemas de abastecimento de água.

5.2 Aplicação numérica

A título de ilustração, será apresentada a seguir uma aplicação numérica do modelo a fim de selecionar a alternativa de controle de perdas para um determinado sistema de abastecimento de água.

5.2.1 FASE 1: Identificação dos problemas do sistema

- Identificação dos decisores

Quatro decisores foram apontados para fazer parte da decisão. São eles:

D1 - representante da concessionária de água, que tradicionalmente atua como o órgão de implantação do sistema, nesse caso, também considerado como Supradecisor;

D3 – representante dos engenheiros-projetistas, que são os técnicos que avaliam as questões hidráulicas do sistema;

D3 – representante da agência de meio ambiente, que teria sua atuação voltada para objetivos de proteção ao meio ambiente;

D4 – representante da comunidade beneficiária, que manifesta os interesses dos cidadãos - receber água com boas condições de pressão e evitar o aumento das tarifas.

- Identificação dos problemas do sistema

Todas as unidades de um sistema de abastecimento de água (captação, elevação, adução, tratamento, reservação e distribuição) são locais passíveis de perdas. Mas, na rede de distribuição é onde ocorre o mais alto índice. A Figura 5.6 ilustra as possíveis perdas na rede.

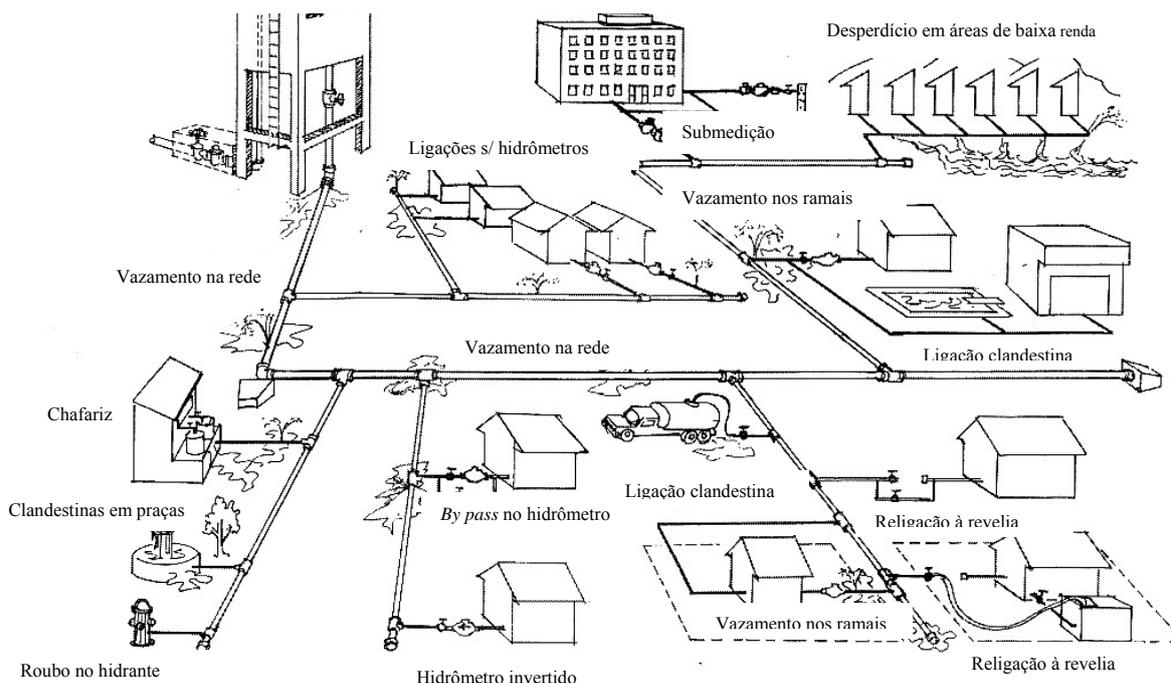


Figura 5.6 – Representação de onde ocorrem as perdas nas redes de distribuição

Fonte: CÔELHO, 2001

5.2.2 FASE 2: Discussão

Na Figura 5.7 é apresentada uma construção do modelo conceitual baseado no SSM, que dá suporte para as discussões entre os atores envolvidos no processo.

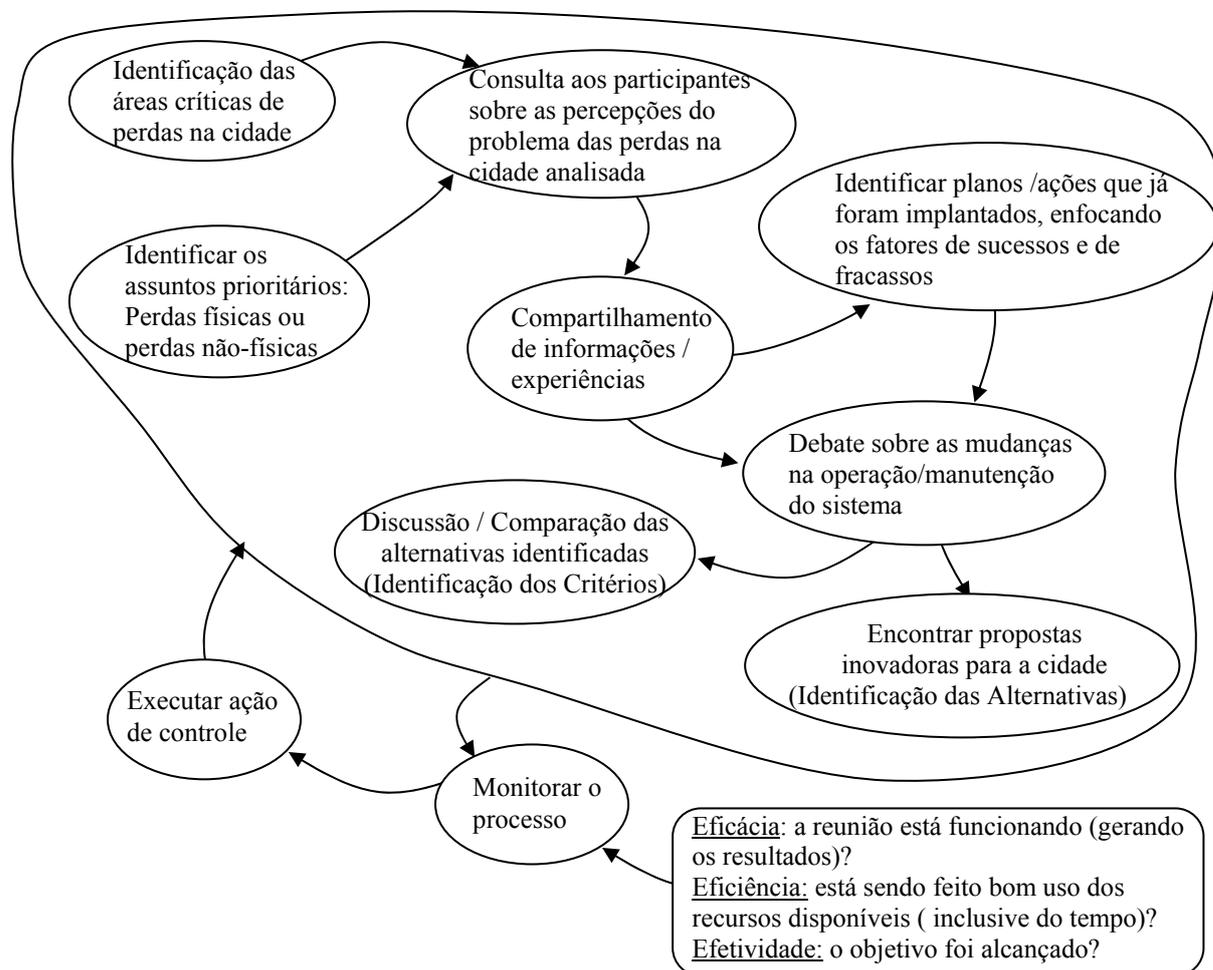


Figura 5.7 – Estrutura do modelo conceitual
 Fonte: Autora (2006)

- **ALTERNATIVAS LEVANTADAS:**

Diante da necessidade da cidade analisada por meio do levantamento dos dados na caracterização do problema e após alguns estímulos as discussões estruturadas da etapa anterior para a criação de novas idéias, várias alternativas podem ser geradas. Foram consideradas aqui, oito possíveis alternativas para amenizar o problema das perdas de água:

A. substituição ou aferição de hidrômetros

Essa alternativa é empregada para combater a submedição do consumo. Existem dois motivos principais para o hidrômetro medir volumes inferiores ao que o atravessou: falta de manutenção preventiva e corretiva, e a seleção e dimensionamento errôneos.

É comum encontrarem-se perdas por submedição superiores a 20% do volume registrado pelo hidrômetro, chegando em alguns casos a até 60% (COELHO, 2001).

Mello (2002) diz que a água exige o emprego de técnicas e instrumentos cada vez mais sensíveis e precisos para fazer a medição do seu consumo e do seu uso (industrial, comercial, residencial e agrícola), a fim de evitar os desperdícios e propiciar a sua utilização dentro do estritamente necessário para a sobrevivência humana.

B. implantação de hidrômetros

Essa alternativa é muito importante para as áreas em que é feita uma estimativa do consumo, geralmente em comunidades de baixa renda. Procura-se com ela, evitar o desperdício e perdas não-físicas, pois segundo Coelho (2001), os usuários sem hidrômetros normalmente não possuem bons hábitos de consumo e geralmente consomem mais do que os usuários medidos.

C. identificação de vazamentos

Consiste no emprego de equipamentos, instrumentos e aparelhos que sistematicamente varrem toda a rede a fim de identificar vazamentos. Dentre os equipamentos que podem ser utilizados, destacam-se:

- *Data Logger*: equipamento eletrônico destinado a medir a vazão que atravessa um medidor de água em determinado instante.
- *Tubo de Pitot*: equipamento destinado à medição das velocidades pontuais, que pode ser empregado para determinar a distribuição das velocidades no interior da canalização e a respectiva vazão. São empregados em estações pitométricas.
- *Geofone eletrônico*: equipamento eletrônico destinado a detectar vazamento não-visível. É utilizado habitualmente quando o tráfego nas ruas é pouco intenso, ou seja, das 22 às 6 horas. A pesquisa de vazamentos inicia-se com o conhecimento da localização da rede, percorrendo-a e auscultando-a em trechos bem definidos. Caso ocorra algum vazamento, o operador bem treinado ouvirá o som característico.
- *Haste de escuta eletrônica*: equipamento eletrônico destinado a detectar o vazamento não-visível por meio de contato da haste com a tubulação ou singularidade.

Também se deve implantar na concessionária uma estrutura capaz de interagir com a população, de forma que todos os vazamentos sejam identificados e corrigidos em tempo hábil. Os trabalhos devem ser efetuados dentro de tempo-padrão técnico pré-estabelecido, para que obedeçam os princípios de eficiência sob o ponto de vista de custo e benefício.

D. campanha educativa para o usuário

Os resultados das campanhas educativas em escolas, colégios e comunidades sempre atingem bons resultados. O importante nessas campanhas é que se utilize uma linguagem adequada ao tipo de população-alvo a que se destinam.

A educação sobre o uso eficiente da água pode ser feita utilizando-se folhetos, adesivos, etc, que mostram como economizar água dentro e fora do domicílio. Além de encorajar a população a fazer as notificações de vazamentos visíveis, a fim de agilizar o processo de manutenção e evitar maiores perdas de água, como também evitar fazer *by-pass* ou o uso da água de forma ilegal. Essas peças de comunicação devem ser deixadas no edifício na ocasião da inspeção realizada por técnicos da empresa concessionária.

E. setorização ou instalação de válvulas redutoras de pressão

Essa alternativa facilita as ações de regularização das pressões na rede de distribuição. A setorização divide a rede em setores menores, de forma que seja possível estudar os fatores que interferem mais profundamente nas perdas. Abrange a implantação de macromedidores nas zonas de pressão, que se destinam ao conhecimento das vazões e volumes produzidos e distribuídos.

É avaliada também a necessidade de implantação de válvulas redutoras de pressão, para fazer com que as peças e tubulações trabalhem em nível adequado, de acordo com o que é exigido pelas normas técnicas.

F. fiscalização contra fraudes

Essa alternativa está voltada principalmente para as perdas que ocorrem junto ao usuário final pelo uso ilegal da água. Nesse caso, a alternativa visa punir com multas as infrações encontradas. As mais freqüentes são:

- *Ligação clandestina*: constitui uma ligação não-autorizada à rede de distribuição de água, sem a contabilização do volume consumido e sem o devido pagamento à concessionária.
- *Desvio do hidrômetro (by-pass)*: constitui o desvio de parte da água consumida, de forma que o usuário paga apenas aquele volume que passa pelo hidrômetro. É uma prática freqüente que compromete a continuidade no abastecimento quando em grande incidência.
- *Inversão do hidrômetro*: normalmente os hidrômetros são fabricados para funcionar em uma única direção, e por isso tem gravado no seu corpo uma seta que indica a

posição em que deve ser instalado, sendo sua medição processada de forma crescente quando instalado corretamente. Assim, alguns usuários, que conhecem essa característica do equipamento, invertem o hidrômetro durante um período, fazendo com que os volumes registrados sejam desmarcados e, portanto, fraudando o consumo. Funcionários experientes e bem treinados conseguem identificar essa fraude na visita de inspeção.

- o *Violação do hidrômetro*: é comum também o usuário violar o hidrômetro de alguma forma, como danificando-o ou paralisando-o temporariamente ou definitivamente. Alguns fabricantes de hidrômetros já apresentam dispositivos para a detecção desse tipo de violação.

G. reabilitação de tubulação e conexões:

É de fundamental importância utilizar materiais bem especificados e de qualidade técnica comprovada, considerando-se a seleção do tipo de tubos, das válvulas, das conexões e dos acessórios a utilizar, pois são essenciais no controle das perdas nas redes de distribuição de água. É aplicado esse sistema quando a rede de distribuição da cidade possui tubulações muito antigas, fora da vida útil, ocasionando vários vazamentos.

H. reaproveitamento da água de lavagem das unidades de tratamento.

Essa alternativa é bastante indicada em sistemas de abastecimento que foram projetados sem o reaproveitamento da água de lavagem das unidades componentes do sistema de tratamento. Segundo informações da Gerência de Qualidade das Águas (GQL da Compesa/PE, 2002a), as perdas podem ser superiores a 30% do volume produzido com a lavagem dos filtros. Nos casos em que as ETAs não possuem lagoas de decantação para as águas de lavagem, é necessária primeiramente a construção delas para o reaproveitamento dessas águas.

- *CRITÉRIOS IDENTIFICADOS*:

Foram definidos os critérios para a priorização das alternativas de solução:

Cr1 - Custo - custo da implantação da alternativa, sendo considerado seu valor por quantias monetárias. As alternativas de menor valor serão as preferíveis.

Cr2 - Horizonte do investimento – tempo de vida útil da alternativa, considerando-se o custo do investimento adotado, ou seja, se o valor custeado atende à alternativa durante 1 mês ou durante n meses. Esse tempo será considerado em meses, sendo preferível aquele que apresentar o maior tempo de vida útil.

Cr3 – Balanço econômico-financeiro - esse critério retrata a importância das alternativas no aspecto econômico-financeiro para a empresa. Esse critério visa a redução no custo de produção e distribuição, juntamente com o aumento da arrecadação, o que terá como consequência uma melhoria significativa no lucro da empresa, tornando-a financeiramente mais saudável.

Apesar de levar em consideração fatores financeiros, esse critério não tem uma mensuração objetiva como os anteriores. Não existem dados, do retorno certo que estas alternativas garantiriam se fosse investido um determinado valor “x”. Porém, subjetivamente, consegue-se avaliar se a alternativa é capaz de permitir ou não uma melhoria nas condições econômico-financeiras da empresa.

Para evitar os problemas de uma análise subjetiva, são adotados os seguintes níveis de preferência:

Conceito	Nível de preferência
Muito bom	De acordo com as características da cidade, a alternativa proporciona um considerável aumento da arrecadação ou redução das despesas de produção.
Bom	A alternativa apresenta apenas uma melhoria na arrecadação ou redução das despesas de produção.
Regular	Muito pequena a contribuição da alternativa para a melhoria na arrecadação ou redução das despesas de produção.
Fraco	A alternativa poderá ou não proporcionar um aumento da arrecadação ou redução das despesas de produção.
Desprezível	A alternativa não representa qualquer aumento na arrecadação ou redução nas despesas de produção.

Cr4 - Redução de desperdício – esse critério reflete o potencial da alternativa de reduzir a água gasta irracionalmente, sendo preferível nos sistemas com colapso no abastecimento ou subsidiados.

Na avaliação das alternativas com relação a esse critério, também subjetivo, foram considerados os seguintes níveis de preferência:

Conceito	Nível de preferência
Muito bom	De acordo com as características da cidade, a alternativa proporciona de forma direta uma considerável redução no desperdício.
Bom	A alternativa proporciona de forma indireta uma considerável redução no desperdício.
Regular	A alternativa proporciona de forma indireta uma pequena redução no desperdício.
Fraco	Praticamente imperceptível a redução no desperdício com a implantação da alternativa.
Desprezível	A alternativa não representa qualquer redução no desperdício.

Cr5 – Benefícios ambientais – esse critério busca refletir a influência da alternativa no meio ambiente, beneficiando-se aquela que protege os mananciais ou reduz a retirada de água.

Diferencia-se do critério anterior, na medida em que o que está em questão é puramente a minimização da degradação ambiental, ou seja, preservar os mananciais existentes (superficiais ou subterrâneos).

Na avaliação das alternativas com relação a esse critério, também subjetivo, foram considerados os seguintes níveis de preferência:

Conceito	Nível de preferência
Muito bom	A alternativa visa à redução da exploração dos recursos naturais, permitindo o melhor aproveitamento da água e proteção ambiental.
Bom	A alternativa visa de forma indireta uma considerável redução na exploração dos recursos naturais.
Regular	A alternativa proporciona de forma indireta uma pequena redução na exploração dos recursos naturais.
Fraco	Praticamente imperceptível ou não há certeza de que a alternativa irá reduzir a exploração dos recursos naturais.
Desprezível	A alternativa não representa qualquer redução na exploração dos recursos naturais.

Cr6 - Manutenção e operação – esse critério visa à diminuição do tempo de vazamento, assim como sua identificação no sistema com maior eficiência e facilidade dos reparos. Também trata da redução das altas pressões na rede, pois são elas as maiores causadoras de vazamentos em canalizações e conexões comprometidas com a vida útil e o mau estado de conservação.

Também consiste numa avaliação muito subjetiva, tendo em vista a dificuldade de análise com relação à melhoria da operação e manutenção com uma determinada alternativa. Por isso, serão utilizados os seguintes níveis de preferência para ajudar na avaliação desse critério:

Conceito	Nível de preferência
Muito bom	A alternativa configura-se uma excelente ação para a melhoria da manutenção e operação do sistema.
Bom	A alternativa proporciona impactos positivos na manutenção e operação do sistema.
Regular	Muito pequena a contribuição da alternativa para a melhoria da manutenção e operação do sistema.
Fraco	Não há certeza se a alternativa melhorará a manutenção e operação do sistema.
Desprezível	A alternativa não tem nenhuma correlação com a melhoria na manutenção e operação do sistema.

Cr7 - Aceitabilidade social – esse critério visa representar o reflexo da implantação da alternativa dentro das comunidades, considerando o nível de aceitação ou rejeição da mesma, principalmente em localidades de baixa renda. É válido destacar que em sistemas com população atendida < 10.000 habitantes, esse critério é avaliado facilmente, porém, para cidades com populações maiores, talvez seja mais adequado fazer a avaliação da aceitação social de forma desagregada, por regiões da cidade, por exemplo.

Serão utilizados os seguintes níveis de preferência, análogos à do critério anterior:

Conceito	Nível de preferência
Muito bom	A alternativa apresenta impactos positivos para a sociedade.
Bom	A alternativa apresenta poucos impactos positivos para a sociedade.
Regular	A alternativa não representa impactos positivos, mas também não apresenta impactos negativos para a sociedade.
Fraco	A alternativa apresenta impactos negativos para a sociedade.
Desprezível	A alternativa não apresenta impactos que determinem sua aceitação pela social.

- *Elaboração da matriz de avaliação*

Com as discussões geradas e a identificação das possíveis alternativas de ação e definição dos critérios, bem como o estabelecimento das suas formas de avaliação, ou seja, dos níveis de preferência para a análise de cada alternativa em relação aos critérios, deve-se então, construir a matriz de performance: alternativas x critérios.

Todos os decisores estão diante da mesma matriz, porém, admite-se que eles podem concordar com as performances das alternativas em relação aos critérios, sendo os valores negociados livremente entre eles; ou, cada decisor faz a sua própria avaliação das performances.

Isto acontece porque, para alguns critérios é possível uma análise direta e sem contestação por parte dos decisores, sendo obtida por meio de estudos específicos para a sua mensuração, tais como “custo” e “horizonte do investimento” que possibilitam uma análise bastante objetiva, sendo o primeiro considerado seu valor por quantias monetárias para a implantação da alternativa, e o segundo, o tempo de vida útil em meses da alternativa, levando em conta o custo do investimento adotado. Vale salientar que sua mensuração exige estudos específicos de cada alternativa para o determinado sistema.

Porém, para os outros critérios, que têm natureza bastante subjetiva e não possuem uma escala clara de valores que possa ser utilizada como recurso de comparação, são adotadas as escalas de comparações verbais, baseadas nos conceitos estabelecidos para os níveis de preferência (muito bom, bom, regular, fraco e desprezível), as quais permitem aliar a simplicidade da análise a uma maior garantia de objetividade. Os valores atribuídos a cada conceito verbal são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Escala para julgamento da importância dos critérios

Escala Verbal	Escala Numérica
Muito Bom	1,00
Bom	0,75
Regular	0,50
Fraco	0,25
Desprezível	0,00

Fonte: Autora (2006)

No entanto, tal análise pode gerar conflito entre os decisores, os quais podem preferir fazer a avaliação de performance de forma individual. Porém, para esta aplicação numérica, considerou-se que todos os decisores concordaram com os dados da avaliação das alternativas em relação aos critérios. A Tabela 5.2 apresenta essa a matriz de performances.

Tabela 5.2 – Matriz de avaliação das alternativas em relação dos critérios

	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7
A	43500.00	96.00	1.00	0.75	0.75	0.00	0.25
B	55000.00	96.00	1.00	0.50	0.75	0.00	0.50
C	120000.00	240.00	0.75	0.00	0.25	1.00	0.50
D	54000.00	12.00	0.50	1.00	0.25	0.75	1.00
E	60000.00	240.00	0.50	0.00	0.25	1.00	0.00
F	72000.00	12.00	1.00	0.75	0.50	0.00	0.25
G	104570.00	240.00	0.75	0.00	0.50	0.75	1.00
H	60000.00	240.00	0.00	0.25	0.75	0.00	1.00

Fonte: Autora (2006)

5.2.3 FASE 3: Clarificação

- Avaliação individual da importância dos critérios e seus parâmetros

Individualmente os decisores avaliam os pesos, expressando a importância relativa de cada critério. Cada decisor não está necessariamente interessado em todos os critérios. Assim, será dado peso igual a zero aos critérios que determinado decisor julgue não-relevante ou não se julgue capaz de avaliar. De acordo com Marcharis *et. al.* (1998), nessa fase da modelagem, cada decisor tem liberdade para escolher maximizar ou minimizar cada critério, além de escolher a sua função de preferência, de acordo com o procedimento do método PROMETHEE II.

A Tabela 5.3 apresenta o resumo geral dos pesos, das funções de preferência e dos respectivos parâmetros por critério, avaliados por cada decisor:

Tabela 5.3 - Pesos, funções de preferência e parâmetros de cada critério, por decisor

		Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7
D1	Peso	0,12	0,12	0,32	0,04	0,04	0,21	0,15
	Tipo	V min	II max	I max	III max	III max	IV max	II max
	Parâmetros	q=5.000 p=50.000	q=84	-	p=0,75	p=0,75	q=0,25 p=0,50	q=0,25
D2	Peso	0,12	0,12	0,24	0,04	0,12	0,32	0,04
	Tipo	III min	II max	I max	III max	III max	IV max	II max
	Parâmetros	p=50.000	q=84	-	p=0,50	p=1	q=0,25 p=0,75	q=0,25
D3	Peso	0	0	0	0,30	0,40	0,15	0,15
	Tipo				I max	III max	I max	III max
	Parâmetros				-	p=0,50	-	p=0,25
D4	Peso	0	0	0	0,25	0,15	0	0,60
	Tipo				I max	I max		I max
	Parâmetros				-	-		-

Fonte: Autora (2006)

- Resultado da análise individual das alternativas prioritárias à luz dos critérios

O resultado do PROMETHEE II se deu pela ordenação decrescente dos fluxos líquidos, estabelecendo uma pré-ordem completa entre as alternativas. As pré-ordens obtidas para cada decisor são ilustradas nas figuras a seguir.

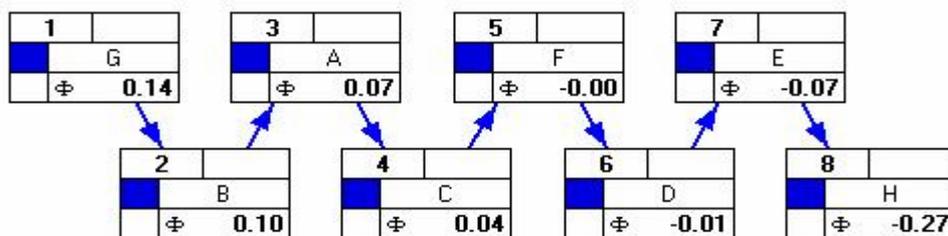


Figura 5.8 – Pré-ordem completa obtida do decisor 1

Fonte: Autora (2006)

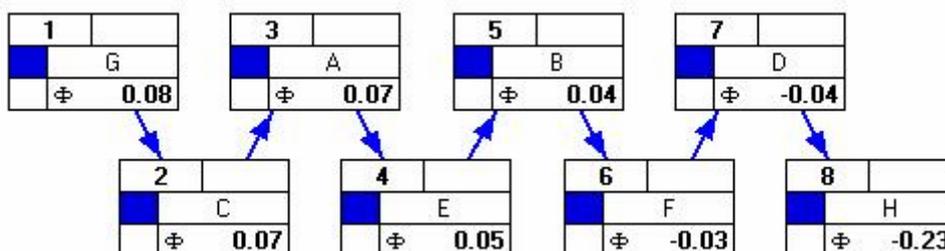


Figura 5.9 – Pré-ordem completa obtida do decisor 2

Fonte: Autora (2006)

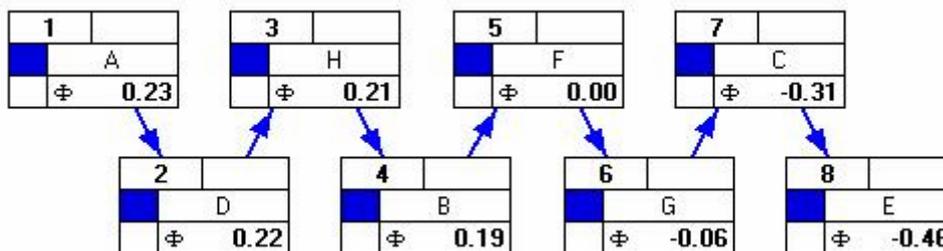


Figura 5.10 – Pré-ordem completa obtida do decisor 3
 Fonte: Autora (2006)

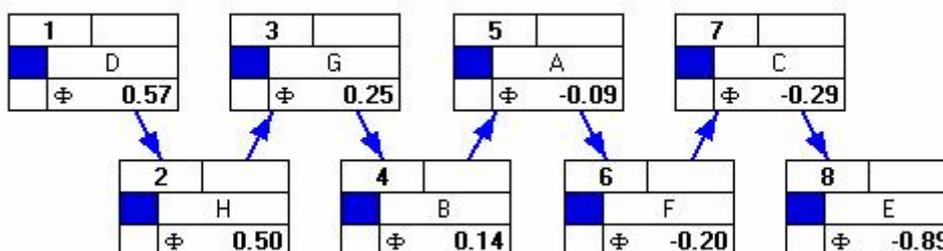


Figura 5.11 – Pré-ordem completa obtida do decisor 4
 Fonte: Autora (2006)

- *Análise de sensibilidade*

A análise de sensibilidade deve ser realizada a fim de verificar a consistência do modelo e para observar o seu comportamento sob algumas variações impostas, especialmente sob os pesos. Esta análise revela se o resultado alcançado individualmente pelos decisores é ou não robusto. Uma simulação foi realizada com uma variação de $\pm 15\%$ no peso dos critérios dados pelos decisores, e não houve mudanças significativas nas ordenações encontradas. As mudanças foram essencialmente nas alternativas que não pertenciam nem ao quartil superior, nem ao quartil inferior da ordenação.

- *Resumo dos resultados das prioridades individuais*

A seguir é apresentada a Figura 5.4 com o resumo dos resultados da aplicação do método PROMETHEE II com cada um dos decisores.

Tabela 5.4 – Resumo dos resultados das prioridades individuais

D1	D2	D3	D4
G	G	A	D
B	C	D	H
A	A	H	G
C	E	B	B
F	B	F	A
D	F	G	F
E	D	C	C
H	H	E	E

Fonte: Autora (2006)

5.2.4 FASE 4: Decisão

- Avaliação da importância dos decisores

Nesse caso, o Supradecisor, juntamente com o analista/facilitador, avalia os pesos dos decisores. Assim, é obtido um problema de programação linear com restrições, a partir dessa informação parcial: $w^{D1} > w^{D2} = w^{D3} = w^{D4}$. O decisor 1 é mais importante que o decisor 2, que tem igual importância que os decisores 3 e 4. A Tabela 5.5 apresenta os resultados obtidos para os pesos dos decisores:

Tabela 5.5 – Peso dos decisores

D1	D2	D3	D4
0,316	0,228	0,228	0,228

- Análise das prioridades individuais

Considerando-se a Tabela 5.4 de ordenação por decisor, têm-se as seguintes alternativas no quartil superior e quartil inferior, respectivamente:

D1	D2	D3	D4	
G	G	A	D	quartil superior ↑
B	C	D	H	
...	
E	D	C	C	quartil inferior ↓
H	H	E	E	

Passa-se para o Filtro 1: aí se calcula o somatório dos pesos dos decisores que são a favor de cada umas das alternativas (Q_i^S), dado pela equação (4.1). A Tabela 5.6 apresenta o resultado desse somatório.

Tabela 5.6 – Quantidade de decisores (considerando-se os respectivos pesos) a favor das melhores alternativas (Q_i^S) – Quartil Superior

<i>i</i>	Q_i^F	
A	0,228	
B	0,316	
C	0,228	
D	0,456	
E	0	← Eliminar!
F	0	
G	0,544	
H	0,228	

Fonte: Autora (2006)

Completa-se o filtro 1 eliminando-se as alternativas que não estão contidas no quartil superior. Eliminam-se as alternativas E e F.

Filtro 2: calcula-se o somatório dos pesos dos decisores que são contra cada umas das alternativas (Q_i^I), dado pela equação (4.2). A Tabela 5.7 apresenta o resultado desse somatório.

Tabela 5.7 – Quantidade de decisores (considerando-se os respectivos pesos) contra as alternativas (Q_i^I) – Quartil Inferior

i	Q_i^I
A	0
B	0
C	0,456
D	0,228
G	0
H	0,544

Eliminar!

Fonte: Autora (2006)

Completa-se o filtro 2 eliminando-se as alternativas que com $Q_i^I \geq Q_i^S$, o que representa que os decisores com maiores pesos são mais contra do que a favor da alternativa. Eliminam-se as alternativas C e H.

As alternativas restantes passam para a contagem da força posicional, por meio da equação (4.3 e 4.4). Como nessa aplicação as alternativas fortes que restaram no processo não apareceram no conjunto do quartil inferior, então, considera-se como resultado a alternativa que obtiver o maior valor de F_i . A Tabela 5.8 apresentam os valores obtidos F_i .

Tabela 5.8 – Contagem posicional superior: força das alternativas (F_i)

ALTERNATIVAS	q_{ij}^k		F_i
	$j = 1^\circ$	$j = 2^\circ$	
	$(8/4)=2$	$(8/4-1)=1$	
A	0,228	-	0,456
B	-	0,316	0,316
D	0,228	0,228	0,684
G	0,544	-	1,088

Fonte: Autora (2006)

Nesse caso, verifica-se que, dentre as alternativas fortes, as quais tiveram sua contagem posicional superior mostrada na tabela acima, apenas a alternativa D aparece entre as alternativas menos preferível, no quartil inferior. Assim, a alternativa G é a solução que deve ser escolhida como o resultado final da decisão em grupo. É importante observar que essa alternativa foi a vencedora de acordo com dois decisores (D1 e D2), dentre os quais o de maior importância relativa. É válido observar que, apesar do método de análise das

prioridades individuais recomendar a alternativa G como resultado da escolha em grupo, as alternativas A e B também são fortes e podem ser consideradas pelos decisores, no plano estratégico de ações para redução das perdas de água em sistemas de abastecimento.

5.3 Comentários finais sobre este capítulo

Este capítulo apresentou um modelo multicritério para a decisão em grupo, capaz de apoiar o processo decisório em todas as fases: definição e estruturação do problema, identificação de possíveis alternativas de solução, análise das prioridades individuais e decisão final do grupo.

A exploração do modelo é realizada por meio de quatro fases:

- Identificação: em que é definida a real situação das perdas da cidade analisada, com o levantamento dos dados e identificação dos atores envolvidos no processo;

- Discussão: em que, por meio da abordagem de estruturação de problemas, é realizada a reunião dos especialistas e demais atores envolvidos no processo. Essa fase tem como finalidade principal a geração de idéias alternativas de solução, formando um rico panorama da situação, ajudando-os a conhecer melhor o problema. Devem ser estabelecidos também os critérios que serão levados em consideração, os quais podem ser individuais ou comuns;

- Clarificação: em que é realizada uma avaliação multicritério de forma individual por todos os membros do grupo. Nessa fase, faz-se uso do método de sobreclassificação PROMETHEE II destinado à problemática de ordenação. Todos os decisores estão diante de uma mesma matriz de alternativas x critérios, mas fazem a avaliação de acordo com seus próprios sistemas de valores;

- Decisão: em que, por meio do método proposto no capítulo 4 deste trabalho, é obtida uma decisão final na escolha da alternativa, baseada nas prioridades individuais de cada decisor. Para o uso desse método, deve ser estabelecida, nessa fase, a importância relativa entre os decisores envolvidos no processo.

Esse modelo tem uma concepção construtivista, de forma que, acompanhando todas as suas fases, existe o processo de recomendações, o que torna dinâmica a evolução do modelo em termos de aprendizagem sobre as percepções do problema entre os decisores.

Por fim, este capítulo apresentou uma aplicação numérica para ilustrar a utilização do modelo. É válido destacar que essa aplicação utilizou poucas alternativas e decisores, de forma que, em casos reais, outros decisores podem ser considerados, além de que várias outras alternativas julgadas necessárias devem ser incorporadas, a depender da cidade analisada.

Durante o desenvolvimento do estudo, percebeu-se que a construção da matriz de avaliação deve ser realizada com bastante cautela, visto que, por mais bem fundamentados que sejam os métodos multicritério, se os dados da matriz forem incoerentes, pouco confiáveis ou mesmo equivocados, o resultado obtido pelo método terá pouca veracidade. Por isso, é de grande importância a fase das discussões, não somente para identificar as alternativas e critérios de avaliação, mas, sobretudo, para a análise da performance das alternativas à luz dos critérios estabelecidos, especialmente aqueles que não eram passíveis de uma quantificação direta, utilizando-se uma escala verbal para expressar o desempenho das alternativas quando comparadas entre si. Essa escala verbal serviu como uma forma prática de avaliação, sendo posteriormente convertida em uma escala numérica.

Dessa forma, o modelo desenvolvido aponta as alternativas de redução de perdas mais favoráveis para cada diferente sistema de abastecimento de água, devendo-se tomar cuidado na determinação dos pesos dos decisores, que reflete sua importância relativa, seu conhecimento do problema, sua influência e seu poder de decisão.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões resultantes do estudo desenvolvido, assim como algumas sugestões para a realização de futuros trabalhos.

6.1 Conclusões

A crescente tendência internacional para o desenvolvimento sustentável, eficiência econômica e proteção ao meio ambiente, faz com que o problema de perdas de água seja de grande interesse pelo mundo inteiro. No seu sentido mais amplo, a busca da redução dos altos índices registrados, passa necessariamente pela melhoria da eficiência operacional, ou seja, quanto mais elevado for o padrão dos serviços prestados, menores serão as perdas. Além disso, outras questões institucionais de caráter externo têm reforçado a necessidade de um forte impulso no seu controle, a saber:

- as exigências dos organismos internacionais de financiamento (BIRD, BID etc.), com vista à melhoria de desempenho operacional;

- aumento da consciência coletiva na busca do crescimento auto-sustentado, por parte de órgãos governamentais e não-governamentais ligados ao meio ambiente, os quais cobram ações de controle de perdas como pressuposto para a aprovação de novos aproveitamentos de mananciais.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um modelo multicritério de decisão em grupo para o planejamento estratégico do controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. Discutiu-se o tal problema, mostrando-se sua importância dentro do contexto atual de falta de água e da crescente necessidade de racionalizar seu uso, da mesma forma que se apresenta uma questão bastante complexa pela falta de política de ação para empreendimentos dessa natureza, pela escassez de recursos disponíveis nesse setor e pela quantidade de agentes de decisão envolvidos no processo.

De maneira geral, o modelo proposto busca apoiar a decisão mediante a integração das abordagens *soft* e *hard* da Pesquisa Operacional, usando uma visão construtivista, em que se procura no decorrer do processo junto com os atores, construir um modelo formalizado que permitirá à evolução do apoio a decisão, em concordância com os objetivos e os sistemas de valores dos atores, por meio da modelagem de preferências.

A abordagem *soft* de estruturação de problemas foi incorporada para formalizar a integração e para facilitar o compartilhamento de informações entre os membros do grupo a partir do desenvolvimento participativo, com o intuito de proporcionar um ciclo de

aprendizagem sobre o problema, de forma a melhorar o entendimento de todos os participantes envolvidos, para então, gerar idéias alternativas de solução. Ainda por meio dessa abordagem, são estabelecidos os critérios a ser considerados, os quais podem ser individuais ou comuns, como também é construída a matriz de avaliação, sendo esta última considerada uma etapa crucial do processo decisório.

Vale destacar que essa abordagem, da forma em que foi aplicada ao modelo, permite não apenas o levantamento de alternativas inovadoras para serem incorporadas ao problema, mas também cria um ambiente propício ao debate e discussões sobre os planos de redução de perdas que já foram aplicados, tratando-se os seus aspectos positivos e negativos e os fatores que influenciaram no seu sucesso ou fracasso.

A abordagem *hard* é utilizada com o problema já estruturado, por meio da avaliação multicritério de forma individual com todos os membros do grupo. Nessa fase, para a obtenção das prioridades individuais, foi utilizado o método multicritério de sobreclassificação PROMETHEE II, destinado à problemática de ordenação.

Para tratar o problema da decisão final do grupo, foi apresentado um novo método, baseado na problemática de escolha. Esse método propõe, mediante uma seqüência de procedimentos em que são executadas quatro etapas de exploração, que a partir das ordenações individuais dada por cada decisor, se chegue a uma escolha, de forma a permitir uma maior quantidade de decisores satisfeitos com o resultado encontrado.

É importante enfatizar que esse método proposto, também foi estendido de forma a incorporar a relativa importância dos decisores, tendo em vista que no modelo proposto para tomada de decisão em grupo permite que seja avaliada a relação de importância entre eles, devido a um conhecimento mais específico acerca do assunto ou a uma reconhecida competência para lidar com o problema.

Esse peso dos decisores deve ser estabelecido entre o supradecisor e o analista, por meio de informação parcial, de forma a evitar que sejam atribuídos valores determinísticos a cada um dos agentes envolvidos. Assim, a informação requerida é apenas uma ordenação de importância entre eles, em que, por meio de programação matemática, são obtidos os valores dos pesos.

Em linhas gerais, o método proposto é:

- destinado à problemática de escolha;
- compreensível aos decisores, sendo de rápida aplicação;
- capaz de incorporar a vantagem que uma alternativa tem sobre outra em relação à ordem;

- flexível quanto ao método utilizado para a obtenção dos dados de entrada, ou seja, as ordenações individuais, dando liberdade ao analista para utilizar um método adequado à problemática de ordenação que achar mais conveniente;

- apto a ser aplicado sem requerer necessariamente que todos os decisores estejam presentes simultaneamente numa reunião, fato particularmente útil no caso de decisores separados por grandes distâncias geográficas, ou no caso de pessoas que tenham agenda de compromissos com pouca flexibilidade para marcar encontros;

- capaz de incorporar ao processo de exploração a relativa importância dos decisores entre si (pesos).

O uso desse método, incorporado ao modelo multicritério para decisão em grupo aqui proposto, permite apontar as alternativas de redução de perdas mais favoráveis para determinado sistema de abastecimento de água, obtendo uma maioria de decisores satisfeitos com o resultado final encontrado.

Com o uso do modelo, e conseqüentemente a implantação de um adequado sistema de controle de perdas, será possível obter a ampliação de receita, a melhoria do desempenho operacional, uma melhor utilização da infra-estrutura existente e eventual postergação de novos investimentos, com a melhoria da imagem da empresa junto aos clientes.

6.2 Sugestões para futuros trabalhos

A seguir são apresentadas algumas sugestões para a elaboração de futuros trabalhos:

- ✓ De forma geral, o modelo pode ser estendido para estruturar os encontros de comitês de bacia;
- ✓ Podem ser incorporadas ao modelo outras formas de avaliação com relação aos parâmetros exigidos, tais como os pesos dos critérios e os limiares, utilizando-se informação parcial, pois em alguns casos os decisores não conseguem especificar com exatidão os valores para esses parâmetros ou não dispõem de informações suficientes para tal fim;
- ✓ Podem ser analisados e desenvolvidos outros procedimentos para a atribuição de pesos aos decisores, representando a importância relativa de cada um deles, avaliando-se a questão do conhecimento do problema, influência/poder de decisão, além de outras informações por parte do decisor;
- ✓ Incorporar ao modelo o uso da tecnologia da informação, fazendo com que parte do processo se desenvolva via internet, sendo especialmente útil para os decisores que estejam separados por grandes distâncias geográficas;

- ✓ Pode-se avaliar o uso de outros métodos multicritério para a obtenção das prioridades individuais;
- ✓ O método proposto pode ser ajustado de forma a incorporar a intensidade de preferência entre as alternativas para cada um dos decisores;
- ✓ Pode ser desenvolvido um indicador que faça uma análise de satisfação dos decisores com relação ao resultado obtido pelo método proposto. Essa satisfação estaria relacionada à adequação da ordenação inicialmente proposta pelo decisor ao resultado encontrado pelo método.

É mister ressaltar que, apesar do modelo multicritério em grupo apresentado ter sido direcionado para o problema do planejamento estratégico do controle de perdas em sistemas de abastecimento de água, sua utilização não está restrita a este contexto problemático.

O modelo multicritério em grupo proposto pode ser utilizado também em outros problemas que necessitem o envolvimento de vários agentes decisores, bem como a integração da participação social, tendo em vista que a ligação das opiniões de cada um dos agentes de decisão torna o processo decisório mais transparente do que quando é analisado de forma fechada, sem a participação da sociedade e de outros grupos de pressão. Quando as pessoas percebem essa transparência, as mudanças são mais bem aceitas e garante-se a credibilidade desejada.

De forma geral, pode-ser ampliar o panorama da utilização do modelo para uma análise de gerenciamento de recursos hídricos, podendo ser utilizado para estruturar os encontros de comitês de bacia, por exemplo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABU-TALED, M.; 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.
- AL-KLOUB, B.; AL-SHERMMERI, T.; PEARMAN, A. The role of weights in multi-criteria decision aid, and the ranking of water projects in Jordan. **European Journal of Operational Research**, v. 99, p. 278-288, 1997.
- ANTUNES, P.; HO, T. The Design of a GDSS Meeting Preparation Tool. **Group Decision and Negotiation**, v. 10, n. 1, p. 5-25, 2001.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. **Aplicações com métodos multicritério de apoio a decisão**. Editora Universitária, Recife. 2003.
- _____. Modelo de Decisão Multicritério para Priorização de Sistemas de Informação com base no Método PROMÉTHÉE. **Gestão e Produção**, v. 9, n. 2, 201-214, 2002.
- AL-RASHDAN, D.; AL-KLOUB, B.; DEAN, A.; AL-SHERMMERI, T. Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan. **European Journal of Operational Research**, v. 118, p. 30-45, 1999.
- ARAÚJO, F. A. S. **Avaliação de perdas em setor de abastecimento de água no distrito de Cruz de Rebouças**. Recife, 2001. 135p. (Mestrado em Engenharia Civil – UFPE).
- ARREGUÍN-CORTES, F. I.; OCHOA-ALEJO, L. H. Evaluation of water losses in distribution networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 123, n. 5, p. 284-291, 1997.
- ARROW, K. J. A difficult in the concept of social welfare. **The Journal of Political Economy**, v. 58, n. 4, p. 328-346, 1950.
- ASFORA, M. C.; CIRILO, J. A. Reservatórios de regularização: alocação de água para usos múltiplos com diferentes garantias. **Rega/ Revista de Gestão de Água da América Latina**, n. 2, v. 2, p. 27-38, 2005.
- AWWA, AMERICA WATER WORKS ASSOCIATION. **Water resources. planning manual of water supply practices**. Denver, Colorado: AWWA, 2001.
- BANA e COSTA, C. Introdução geral à abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão. **Investigação Operacional**, v. 8, n. 1, p. 117-139, 1988.
- BAUMANN, D.D.; BOLAND J.J. The case for managing urban water. In: BAUMAN, D.D.; BOLAND, HANEMANN, W.M. **Urban water management and planning**. USA: Mc Graw Hill, 1997. p. 1-28.
- BENNETT, P.; BRYANT, J. HOWARD, N. Drama theory and confrontation analysis. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.). **Rational Analysis for a Problematic World Revisited**. Second Edition. Chichester: Jonh Wiley & Sons Ltd, 2004.

- BORDA, J.C. Mémoire sur les élections au scrutin, Histoire de l'Académie Royale des Sciences, Paris, 1781. *Apud* COOK, W.D. Distance-based and ad hoc consensus models in ordinal preference ranking. **European Journal of Operational Research**, v. 172, p. 369-385, 2006.
- BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. **PROMETHEE-GAIA**: une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples. Bruxelles: Éditions de L'Université de Bruxelles, 2002.
- _____. PROMCALC & GAIA: A new decision support system for multicriteria decision aid. **Decision Support Systems**, v. 12, p. 297-310, 1994.
- _____. 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.; 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.H. A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM. **Management Science**, v. 31, n. 6, p. 647-656, 1985.
- BROWN, J.R.; MACLEOD, N.D. Integrating ecology into natural resource management policy. **Environmental Management**, v. 20, n. 3, p. 289-296, 1996.
- CAI, X; LASDON, L.; MICHELSEN, A.M. Group decision making in water resources planning using multiple objective analysis. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 130, n. 1, p. 4-14, 2004.
- CAMPELLO DE SOUZA; B. A Teoria da Mediação Cognitiva. In: SPINILLO, A. G.; MEIRA, L. L. (Org.). **Psicologia Cognitiva**: cultura, desenvolvimento e aprendizagem, p. 145-167. Recife: Editora Universitária, 2006.
- CAMPELLO DE SOUZA, F. M. **Decisões racionais em situações de incerteza**. Recife: Ed. Universitária, 2002.
- CARNEIRO, G. A.; BARBOSA, R. F. M; SOUZA, M.A. A. Tecnologia apropriada em saneamento: uma nova abordagem com o emprego de análise multiobjetivo e multicritério. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. I-046.
- CARRIJO, I. B.; REIS, L.F.R.; CHEUNG, P.B.; SOARES, A.K.; SILVA, F.G.B. Otimização da operação de sistemas de distribuição de água utilizando algoritmos genéticos multiobjetivo. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. **Anais...** 2003.
- CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. Modelo Multicritério de Apoio a Decisão para o Planejamento de Manutenção Preventiva Utilizando PROMETHEE II em Situações de Incerteza. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 2, 279-296, 2005.
- CHECKLAND, P. Soft Systems Methodology. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.). **Rational Analysis for a Problematic World Revisited**. Second Edition. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004.

- CHOI, D.J.; PARK, H. Analysis of water privatization scenarios in Korea with multi-criteria decision making techniques. **Aqua**, v. 50, n. 6, p. 335-352, 2001.
- CHOO, U.; SCHONER, B.; WEDLEY, C. Interpretation of Criteria Weights in Multicriteria Decision Making. **Computers and Industrial Engineering**, v. 37, p. 21-29, 2000.
- CLÍMACO, J. N.; ANTUNES, C. H.; ALVES, M. J. G. **Programação linear multiobjectivo: do modelo de programação linear clássico à consideração explícita de várias funções objectivo**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2003.
- CLIMACO, J. N.; CARDOSO, D.; SOUSA, J.F. Reflexões sobre o ensino da pesquisa operacional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 36., 2004, São João Del-Rei. **Anais...** São João Del-Rei: SOBRAPO, 2004.
- COÊLHO, A. C. **Manual de Economia de Água (Conservação de Água)**. Recife: ed. Comunigraf, 2001.
- _____. **Medição Individualizada de Água em Apartamentos**. Recife: ed. Comunigraf, 1999.
- COLOMBO, A.F. KARNEY, B.W. Energy and costs of leaky pipes: toward comprehensive picture. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 128, n. 6, p. 441-450, 2002.
- COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. **Relatório de Acompanhamento Mensal da GQL – Gerência da Qualidade das Águas**, 2002a.
- COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. **Relatório de Diagnóstico do Sistema Existente da Cidade de Moreno-PE**, 2002b.
- CONDORCET, M. Éssai sur l’application de l’analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix, Paris: De l’imprimerie, 1785. *Apud* YONG, H. P. Condorcet’s theory of voting. **The American Political Science Review**, v. 82, n.4, p. 1231 – 1244, 1988.
- COOK, W.D. Distance-based and ad hoc consensus models in ordinal preference ranking. **European Journal of Operational Research**, v. 172, p. 369-385, 2006.
- COOK, W. D.; KRESS, M. Ordinal ranking with intensity of preference. **Management Science**, v. 31, n. 1, p. 26-32, 1985.
- COOK, W.D.; SEIFORD, L.M. Priority ranking and consensus formation. **Management Science**, v. 24, n. 16, p. 1721-1732, 1978.
- DIAKOULAKI, D.; MAVROTAS, G.; PAPAYANNAKIS, L. Determining objective weights in multiple criteria problems: the critic method. **Computers and Industrial Engineering**, Elsevier Science Ltd, v. 22, p. 763-770, 1995.
- DIAS, L.C.; CLIMACO, J.N. Dealing with imprecise information in group multicriteria decisions: a methodology and a GDSS architecture. **European Journal of Operational Research**, v. 160, p. 291-307, 2005.
- EDEN, C. Cognitive mapping: a review. **European Journal of Operational Research**, v. 36, p. 1-13, 1988.

- _____. On evaluating the performance of wide-band GDSS's. **European Journal of Operational Research**, v. 81, p. 302–311, 1995.
- EDEN, C.; ACKERMANN, F. SODA. The Principles. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.). **Rational Analysis for a Problematic World Revisited**. Second Edition, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- EDEN, C.; ACKERMANN, F. Viewpoint. Where next for problem structuring methods. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, n.7, p. 766-768, 2006.
- ENGELHARDT, M.O.; SKIPWORTH, P.J.; SAVIC, D.A.; SAUL, A.J.; WALTERS, G.A. Rehabilitation strategies for water distribution networks: a literature review with a UK perspective. **Urban Water**, v. 2, p. 153-170, 2000.
- EPSTEIN, I. O paradoxo de Condorcet e a crise da democracia representativa. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 30, 1997.
- FERREIRA, A. B. H. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. Segunda Edição. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.
- FIGUEIRA, J.; ROY, B. Determining the Weights of Criteria in the ELECTRE type Methods with a Revised Simos' Procedure. **European Journal of Operational Research**, p. 139: 317-326, 2002.
- FISCHER, G.; DYER, J. Attribute Weighting Methods and Decision Quality in the Presence of Response Error: A Simulation Study. **Journal of Behavioral Decision Making**, v. 11 n. 2, p. 85-105, 1998.
- FORMAN, E.; PENIWATI, K. Aggregation individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, v. 108, p. 165-169, 1998.
- FRANCO, L.A.; CUSHMAN, M.; ROSENHEAD, J. Project review and learning in the construction industry: Embedding a problem structuring method within a partnership context. **European Journal of Operational Research**, v. 152, p. 586-601, 2004.
- FREITAS, A. L. P.; COSTA, H. G. Problemas de ordenação e classificação: Uma análise com métodos de subordinação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 32, 2000, Viçosa, **Anais...2000**.
- FRIEND, J. The strategic choice approach. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.). **Rational Analysis for a Problematic World Revisited**. Second Edition. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- GARCIA-LAPRESTA, J.L.; MENESES, L.C. Individual-valued preferences and their aggregation: consistency analysis in a real case. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 151, p. 269-284, 2005.
- GERMANOPOULOS, G.; JOWITT, P. W. Leakage reduction by excess pressure minimization in a water supply network. **Proc. Instn. Civ. Engrs.**, Part 2 (June), p. 195-214, 1989.

- GOMES, L. F.A. M. **Da Informação à Tomada de Decisão: Agregando Valor Através dos Métodos Multicritério**. Recife: Recitec, v. 2, n. 2, p. 117-139, 1998.
- GOMES, L.F.A.M.; ARAYA, M.C.G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério a decisão**. São Paulo: Editora Pioneira Thompson Learning, 2004.
- GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. Rio de Janeiro: Editora Atlas, 2002.
- GRECO, M.; GIUDICE, G. New approach to water distribution network calibration. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 125, n. 8, p. 849-854, 1999.
- GRISHAM, A., FLEMING, W. Long term options for municipal water conservation. **J. AWWA**, v. 88, n. 3, p. 34-42, 1989.
- HARADA, A. L. Uso de análise multicritério na ordenação de prioridades em empreendimentos de saneamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. **Anais...** IV-023. 2001
- HEIREKLDIN, K.; e FAHMY, H. Multi-criteria approach for evaluating long term water strategies. **Water International**, v. 26, n. 4, p. 527-535, 2001.
- HERNÁNDEZ, V.; MARTÍNEZ, F.; VIDAL, A.M.; ALONSO, J.M.; ALVARRUIZ, F.; GUERRERO, D.; RUIZ, P.A.; VERCHER, J. Hiperwater: a high performance computing EPANET – Based demonstrator for water network simulation and leakage minimization. In: SAVIC, D.A. e WALTERS, G.A. (ed.): **Water Industry Systems: Modeling and Optimization Applications**, v. 1, p. 141-153, 1999.
- HOOGSTEN, K. J., Basic distribution system maintenance, In: **AWWA, Annual Conference and Exposition**, Chicago, June 20-24th, 1999.
- HORLICK-JONES, T.; ROSENHEAD, J.; GEORGIU, I.; RAVETZ, J.; LOFSTEDT, R. Decision support for organizational risk management by problem structuring. **Health, Risk and Society**, v. 3, n. 2, p. 141-165, 2001.
- HUYLENBROECK, G.V. The conflict analysis method: bridging the gap between ELECTRE, PROMETHEE and ORESTE. **European Journal of Operational Research**, v. 82, p. 490-502, 1995.
- HWANC, C.L; LIN, M.J. **Group decision making under multiple criteria**. Berlin: Springer-Verlag, 1987.
- HYDE, K.M.; MAIER, H.R.; COLBY, C.B. Reliability-based approach to multicriteria decision analysis for water resources. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 130, n. 6, p. 429-438, 2004.
- JABEUR, K.; MARTEL, J.M. A collective choice method based on individual preferences relational systems (p.r.s.). **European Journal of Operational Research**, article in press, disponível em 13 de dezembro, 2005.
- JOWITT, P.W.; XU, C. Optimal valve control in water distribution networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 116, n. 4, p. 455-472, 1990.

- KANGAS, A.; KANGAS, J.; PYKÄLÄINEN, J. Outranking methods as tools in strategic natural resources planning. **Silva Fennica**, v. 35, n. 2, p. 215-227, 2001.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs**. New York: John Wiley & Sons, 1976.
- KEYSER, W.; PEETERS, P. A Note on the Use of PROMETHEE Multicriteria Methods. **European Journal of Operational Research**, v. 89, p. 457-461, 1996.
- KHEIRELDIN, K.; FAHMY, H. Multi-criteria Approach for Evaluating Long Term Water Strategies. *Water International*, v. 26, n. 4, p.527-535, 2001.
- KIM, S.H.; AHN, B.S. Interactive group decision making procedure under incomplete information. **European Journal of the Operational Research**, v. 116, p. 498-507, 1999.
- LAMBERT, A.; HIRNER, W. International Water Data Comparasions Ltd. Llandudno, LL30 1SL, UK. Losses from Water Supply systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. IWA (International Water Association). The blue pages – The IWA information source on drinking water issues, 2000.
- LAMY, F.; BOLTE, J.; SANTELMANN, M.; SMITH, C. Development and evaluation of multiple-objective decision-making methods for watershed management planning. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 38, n. 2, p. 517, 2002.
- LEYVA-LÓPEZ, J. C.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, E. A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology. **European Journal of Operational Research**, v.148, n. 1, p.14-27, 2003.
- LO, C.C.; WANG, P.; CHAO, K.M. A fuzzy group-preferences analysis method for new-product development. **Expert Systems with Application**, v. 31, p. 826-834, 2006.
- MACHARIS, C.; BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. The GDSS PROMETHEE Procedure. **Journal of Decision Systems**, v. 7, p. 283-307, 1998.
- MCKENZIE, R; SEAGO, C. Assessment of real losses in potable water distribution systems: some recent developments. **Water Science and Techn.: Water Supply**, v. 5, n 1, p. 33-40, 2005.
- MADDAUS, W.O. Water Resources Planning, In: **Water Resources Planning, Manual of Water Supply Practices M-50**, Denver, Colorado: AWWA, 2001.
- MARCKA, E. Documento Técnico de Apoio nº C2 (DTA_C2) - Panorama dos Sistemas Públicos de Abastecimento no País: Casos selecionados de estratégias de combate ao desperdício. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria de Política Urbana**. Brasília, revisão 2004.
- MARQUES, F. C. V.; GASPARINI, V. A. Índice de perdas aceitável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 18, São Paulo, **Anais...**1995.
- MARTINEZ, F. CONEJOS, P.; VERCHER, J. Developing an integrated model for water distribution systems considering both distributed leakage and pressure-dependent demands. **Proceedings of the 26th ASCE Water Resources Planning and Management Division Conference**, Arizona, 1999.

- MATEOS, A.; JIMÉNEZ, A.; RÍO-INSUA, S. Monte Carlo simulation techniques for group decision making with incomplete information. **European Journal of Operational Research**, v. 174, p. 1842-1864, 2006.
- MELLO, E. J. Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água – <<http://members.fourtnecity.com/perdasdagua/>> acesso em abril de 2002.
- MENDES, J. M. B. O Planeta Água está Secando. Em Pauta – **Revista Globo Ciência**, São Paulo, p. 59, 1998.
- MINGERS, J.; ROSENHEAD, J. Problem structuring methods in action. **European Journal of Operational Research**, v. 152, p. 530-554, 2004.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, **Documento sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, 1997.
- MORAIS, D. C. Avaliação multicritério de investimentos associados a sistemas para redução de perdas e desperdícios de água. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFPE, p. 132, 2002.
- MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Water supply system decision making using multicriteria analysis. **Water SA**, v. 32, n. 2, p. 229-235, 2006a.
- _____. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 3, 2006b.
- _____. Leakage management strategy of water distribution network: A Group Decision Making. In: EURO XXI in Iceland, 21st EUROPEAN CONFERENCE ON OPERATIONAL RESEARCH, 2006, Reykjavik, Iceland, **Anais...** 2006c.
- _____. Multicriteria Decision Model for Investment in Reduction of Loses in Water Supply System. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON OPERATIONAL RESEARCH FOR DEVELOPMENT (V-ICORD), 2005, Jamshedpur, Índia, **Anais...** 2005.
- _____. Métodos multicritério de apoio a decisão no planejamento de sistemas de abastecimento de água. In: ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. (Org.). **Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão**, p. 21-40. Recife: Editora Universitária, 2003.
- _____. Multicriteria decision-aid for implantation of water supply system. In: 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING INNOVATIONS In MANUFACTURING (MIM 2002), Milwaukee, Wisconsin, **Anais...** 2002.
- MOSHKOVICH, H.M.; SCHELLENBERGER, R.E.; OLSON, D.L. Data influences the result more than preferences: some lessons from implementation of multiattribute techniques in a real decision task. **Decision Support Systems**, v. 22, n. 1, p. 73-84, 1998.
- MOUSSEAU, V.; FIGUEIRA, J.D.; GOMES DA SILVA, C; CLÍMACO, J.N. Resolving inconsistencies among constraints on the parameters of an MCDA model. **European Journal of Operational Research**, v. 147, n. 1, p. 72-93, 2003.
- MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R. Inferring an ELECTRE TRI Model from Assignment Examples. **Journal of Global Optimization**, n. 12, p. 157-174, 1998.

- MUCCHIELLI, R. **A condução de reuniões**. São Paulo: Martins Fontes, 1981.
- NWC/DoE. National Water Council. **Leakage Control Policy and Practice**. Standing technical committee report 26. 1980.
- OBRADOVIC, D. Modelling of demand and losses in real-life distribution systems. **Urban Water**, v.2, p.131-139, 2000.
- OLSON, D. L. **Decision Aids for Election Problems**. Springer, 1996.
- PAHL-WOSTL, C. Participative and stakeholder-based policy design, evaluation and modeling processes. **Integrated Assessment**, v.3, p. 3-14, 2002.
- PNCDA - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria de Política Urbana. Brasília, 1998.
- POLISEL, K. C.; HASSEM, R; PRETO, V. Controle de Perdas Através de Macromedidores Eletromagnéticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa, **Anais...2001**.
- PROTOPAPAS, A.K.; KATCHAMART, S.; PLATONOVA, A. Weather effects on daily water use in New York city. **Journal of Hydrologic Engineering**, ASCE, v.5, n.3, p.332-338, 2000.
- RAJU, K. S.; KUMAR, D. N. Multicriterion decision making in irrigation planning. **Agricultural Systems**, v. 62, n. 2, p. 117-129, 1999.
- REGAM, H.M.; COLYVAN, M.; MARKOVCHICK-NICHOLLS, L. A formal model for consensus and negotiation in environmental management. **Journal of Environmental Management**, v. 80, p. 167-176, 2006.
- REIS, L.F.R; PORTO, R.M; CHAUDHRY, F.H. Optimal location of control valves in pipe networks by genetic algorithm. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 123, n.6, p.317-326, 1997.
- ROSENHEAD, J. Robustness analysis: keeping your options open. In: ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.). **Rational Analysis for a Problematic World Revisited**. Second Edition, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- ROSENHEAD, J.; MINGERS, J. (eds.). **Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity, Uncertainty and Conflict**. Second Edition. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- ROSENTHAL, D. **O Conceito de Tecnologia**. In: Capacitação Tecnológica: Uma Sugestão de Arcabouço Conceitual de Referência. p. 73-130, 1999.
- ROSSMAN, L.A. **EPANET 2 users manual**. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000.
- ROY, B. **Mulcriteria Methodology for Decision Aiding**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- _____. **Methodologie Multicrièrre d'aide à la Décision**. Paris: Editora Econômica, 1985.

- ROY, B.; PRÉSENT, M.; SLHOL, D. A programming method for determining which Paris metro stations should be renovated. **European Journal of Operational Research**, v.10, n.1, p. 51-55, 1986.
- SAARI, D.G. Explaining all three-alternative voting outcomes. **Journal of Economic Theory**, v. 87, p. 313-355, 1999.
- SALES, C.V. As mascaras da democracia: nota sobre a teoria democrática contemporânea à luz dos eixos Dahlsianos. **Revista de Sociologia e Política**, v. 24, p. 233-245, 2005.
- SALMINEN, P.; HOKKANEN, J.; LAHDELMA, R. Comparing Multicriteria Methods in the Context of Environmental Problems. **European Journal of Operational Research**, v. 104, p. 485-496, 1998.
- SAMUEL, P.; FRAGA, A.; NASCIMENTO, L. Efeitos da substituição de redes sobre as perdas de água no distrito pitométrico de Ipanema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa: 2001. **Anais...** I-093.
- SILVA, K.R.G; MIKOWSKI, P.A. Metodologia para apoio na gestão de perdas e na gestão de energia em sistemas de abastecimento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, Campo Grande: 2005. **Anais...** I-031.
- SILVA, S. A.; ALMEIDA, A. R.; CAMURI, R. Programa de controle e gestão de perdas do SAAE-Barra Mansa-RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa: 2001. **Anais...** I-023.
- SIMÃO, A. C. R.; RODRIGUES, J.M.C. Gestão de sistemas urbanos de abastecimento de água com SIG. In: **SEMINÁRIO CIDADE**, 21. Novas Tecnologias na Gestão da Cidade. Coimbra: 2001.
- SMITH, J. H. Aggregation of preference with variable electorate. **Econometrica**, v. 41, n. 6, p. 1027-1041, 1973.
- SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento 2004. <http://www.snis.gov.br/diag_2004.htm> Acessado em 10 de maio de 2006.
- SILVA, R. T.; CONEJO, J. G. L.; GONÇALVES, O. M. Apresentação do programa. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água** (PNCDA): Documento Técnico de Apoio- DTA; A1. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretária de Política Urbana, 1999.
- SOARES, A.K. Calibração de modelos de redes de distribuição de água para abastecimento considerando vazamentos e demandas dirigidas pela pressão. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 153p. 2003.
- SOARES, D. A experiência da redução e controle de perdas no sistema de distribuição de água no setor JD. Popular. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa: 2001. **Anais...** I-108.
- STEWART, T.; SCOTT, L. A scenario-based framework for multicriteria decision analysis in water resources planning. **Water Resources Research**, v.31, n.11, p.2835-2843, 1995.

- TALEB, M. F. A.; 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.
- TEICH, D. H. A Terra pede Socorro. **Revista Veja**. Editora Abril. Edição 1765, 21 de agosto de 2002. Número 33, seção Especial, p.80-87.
- TUCCIARELLI, T.; CRIMINISI, A.; TERMINI, D. Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 125, n.3, p. 277-285, 1999.
- ULANICKI, B.; BOUNDS, P.L.M.; RANCE, J.P.; REYNOLDS, L. Open Loop and Closed Loop Pressure Control for Leakage Reduction. **Urban Water Journal**, v. 2, p. 105-114, 2000.
- ÜLENGİN, F.; TOPCU, Y. I; SAHİN, S. Ö.. An integrated decision aid system for Bosphorus water-crossing problem. **European Journal of Operational Research**, v. 134, p. 179-192, 2001.
- VAIRAVAMOORTHY, K.; LUMBERS, J. Leakage reduction in water distribution systems: optimal valve control. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 124, n. 11, p. 1146-1151, 1998.
- VAN DEN HONERT, R.C.; LOOTSMA, F.A. Group preference aggregation in the multiplicative AHP The model of the group decision process and Pareto optimality. **European Journal of Operational Research**, v. 96, p. 363-370, 1996.
- VENTURINI, M. A. A. G; BARBOSA, P. S. F. Subsídio à escolha de técnicas de reabilitação de redes de distribuição de água. In: I SEREA Seminario Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento de Água: Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento de Água. 2002, João Pessoa: **Anais...2002**
- VENTURINI, M. A. A. G; BARBOSA, P. S. F.; LUVIZOTTO JR., E. Estudo de alternativas de reabilitação para sistemas de abastecimento de água. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 2001, Aracaju: **Anais... 2001**.
- VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. Bruxelles: John Wiley & Sons, 1992.
- VON WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. Behavioral Influences on Weights Judgements in Multiattribute Decision Making. **European Journal of Operational Research**, v. 67, p. 1-12, 1993.
- WALSKI, T. M.; CHASE, D. V.; SAVIC, D.A.; GRAYMAN, W.; BECKWITH, S.; KOELLE, E. **Advanced Water Distribution Modeling and Management**. First Edition. Waterbury: Haestad Press, 2003.
- WATER INDUSTRY ACT, 1991. <http://www.opsi.gov.uk/acts/acts1991/Ukpga_19910056_en_1.htm> Acessado em 01 de agosto de 2006.
- WEISS, D. **Making Tough Decisions**. New York: Amacon, 1993.
- WHO - World Health Organization. Operation and Maintenance of Urban Water Supply and Sanitation Systems: a guide for managers. Geneva, 1994.

- WINTER, M. Problem structuring in project management: an application of soft systems methodology (SSM). **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, p. 802-812, 2006.
- WRC - Water Research Centre. *Leakage Policy and Practice*, Report 26, 1985.
- XU, X.; MARTEL, J.; LAMOND, B. A multiple criteria ranking procedure based on distance between partial preorders. **European Journal of Operational Research**, v. 133, p. 69-80, 2001.
- YONG, H. P. Condorcet's theory of voting. **The American Political Science Review**, v. 82, n. 4, p. 1231 – 1244, 1988.
- ZAK, J. Gis e Análise Multicritério. In: XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Campos do Jordão, 2001. São Paulo: **Anais...** 2001.
- ZELENY, M. **Multiple Criteria Decision Making**. New York: MacGraw-Hill, 1982.
- ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. Multi-criteria decision aid in financial decision making: methodologies and literature review. **Journal of Multicriteria Decision Analysis**, v. 11, n. 4-5, p.167-186, 2002.
- ZUFFO, A.C. Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos. Tese (Doutorado), São Carlos, Universidade de São Paulo, 301p., 1998.