

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA**

EDUARDO CONCESSO MENDONÇA

ORIENTADOR: MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

BRASÍLIA/DF: NOVEMBRO – 2009

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE
SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA**

EDUARDO CONCESSO MENDONÇA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS
HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

**Prof. Marco Antonio Almeida de Souza, PhD (UnB)
(Orientador)**

**Prof. Oscar de Moraes Cordeiro Netto, DSc (UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof^a. Priscilla Macedo Moura, DSc (UFMG)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 16 DE NOVEMBRO DE 2009.

FICHA CATALOGRÁFICA

MENDONÇA, EDUARDO CONCESSO

Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. [Distrito Federal] 2009.

xvii,176p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 1999). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1.Drenagem Urbana

2.Avaliação de desempenho

3.Métodos de Auxílio a Decisão

4.Inundações

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MENDONÇA, E. C. (2009). Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 171p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Eduardo Concesso Mendonça.

TÍTULO: Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana.

GRAU: Mestre

ANO: 2009

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação, sendo que nenhuma parte pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Eduardo Concesso Mendonça

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me capacitou e me deu forças em todos os momentos da pesquisa.

Aos meus pais, por todo amor e incentivo, por sempre colocarem a minha educação em primeiro lugar e por me ensinarem que o conhecimento é o maior bem que se pode ter.

À Larissa pelo carinho e compreensão, por acreditar que as dificuldades sempre passariam e que o sofrimento não seria em vão.

Agradeço a Carol e ao Edu, que sempre me alegraram e me darão a honra de batizar o Pedro, o filho que está por vir. À minha avó Lola pelos conselhos e pelas broncas. Aos meus familiares que, mesmo longe, sempre me deram forças e torceram pelo meu sucesso.

A todos os meus sinceros e verdadeiros amigos, desde os da infância até os mais recentes. Como vocês são importantes. Obrigado pela cobrança, pela desconfiança, mas também pelo apoio e pela certeza de que esse dia chegaria.

Aos amigos-irmãos do Maanaim, por estarem sempre ao meu lado e por todas as orações, mesmo nos momentos em que não fui merecedor.

À minha terapeuta Silvana, que em vários momentos me auxiliou na escolha dos caminhos a seguir, foi fundamental para que eu não desistisse do sonho que tracei ao iniciar o mestrado.

Ao professor, orientador, amigo, confidente e conselheiro Marco Antonio, que se dispôs a me orientar em uma circunstância muito especial, comprovou ser um excelente profissional e um ser humano admirável.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, que dividiram o período acadêmico mais intenso da minha vida. Bruno Távora, Bruno Goulart, Davi, Gustavo, Pará, Bernardo, Diego, Lícia, Débora, Dayane, Marcely, Amanda, Melissa, Rodolfo, Alessandra, Ronaldo, Leonor, Orlandina, entre vários outros não menos importantes.

Aos professores do programa, Koide, Cristina, Ariuska, Ricardo, Góes, Oscar, Nabil e Nestor, pelos conhecimentos transferidos. Aos funcionários e colaboradores, Boy e Adalias, bem como o pessoal da limpeza e todos os outros.

Às pesquisadoras que me auxiliaram na pesquisa, principalmente a Jussanã Milograna, que de certa maneira me co-orientou e me possibilitou várias reflexões. À Raquel Brostel, pela excelente dissertação que esclareceu muitos aspectos da metodologia. À Priscilla Moura, que gentilmente me cedeu sua dissertação para consulta e enriquecimento do meu trabalho.

Aos especialistas que colaboraram com a resposta dos questionários. Cláudia Vale, Eduardo Mário Mendiondo, Flávio Mascarenhas, Jaime Cabral, Jéferson Costa, José Góes de Vasconcelos Neto, Jussanã Milograna, Leonardo Mitre A. de Castro, Luiz Fernando Orsini, Márcio Baptista, Neiva Azzolin, Priscilla Moura, Raquel Brostel, Rosa Martins, Vanessa Freitas e Vanusa Gomes.

Ao CNPQ pelo fomento à pesquisa e concessão de bolsa de estudos.

A todos, muito obrigado.

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

RESUMO

Os frequentes problemas decorrentes da inexistência ou ineficiência do manejo e gestão das águas pluviais urbanas foram motivadores para o desenvolvimento deste trabalho. O objetivo central da pesquisa é desenvolver e aplicar uma metodologia de apoio capaz de avaliar o desempenho global de sistemas de drenagem urbana com aplicação de técnicas de análise de auxílio à decisão, permitindo a identificação dos aspectos mais eficientes e também dos mais precários associados aos sistemas de drenagem urbana.

Para avaliar os sistemas de drenagem urbana foram selecionados dezesseis critérios com auxílio de especialistas. Esses critérios tiveram duas formas de avaliação, os indicadores de desempenho e as planilhas de avaliação, que são semelhantes às metodologias utilizadas em auditorias. Os sistemas de drenagem urbana tiveram seus desempenhos avaliados segundo cada critério e agrupados em seis dimensões, sendo elas: *legal, econômica, ambiental, social, de práticas sustentáveis e técnica*. Dessa agregação, foi possível proceder a uma avaliação global dos sistemas.

Os métodos de auxílio à decisão selecionados para dar suporte a avaliação foram os métodos multicritério e multiobjetivo *ELECTRE TRI* e *TOPSIS*, que têm como características as possibilidades de alocação das alternativas em categorias. As categorias utilizadas para definir o nível de desempenho dos sistemas de drenagem urbana foram “ótimo”, “muito bom”, “bom”, “regular”, “ruim” e “muito ruim”.

Foram utilizados como estudos de caso três cenários de sistemas de drenagem urbana, que hipoteticamente pudessem ser implantados em uma sub-bacia do Córrego Vaca Brava, no município de Goiânia. O primeiro, era composto por uma rede de drenagem tradicional, separada da rede de esgoto. O segundo, contava com a incorporação de duas bacias de retenção ao sistema tradicional e, o terceiro, incorporava a inclusão de microreservatórios nos lotes para auxiliar o sistema tradicional de drenagem urbana.

Os resultados indicaram desempenho *regular, muito bom e ótimo* para os cenários I, II e III, respectivamente, com a utilização do *ELECTRE TRI*. Utilizando o *TOPSIS*, o desempenho do cenário I foi *bom* e dos cenários II e III *muito bom*. Esses resultados mostraram-se coerentes e confirmaram a expectativa de desempenho mediante o emprego das técnicas compensatórias.

METHODOLOGY FOR EVALUATION OF PERFORMANCE OF URBAN DRAINAGE SYSTEMS

ABSTRACT

The frequent problems due to the non existence or the inefficiency of the management and the handling of urban stormwater were the motivators for the development of this essay. The main aim of this research is to develop and apply a support methodology that is able to evaluate the global performance of urban drainage systems by means of using analytical techniques of decision support, allowing the identification of the most efficient, and also the most precarious, aspects related to the urban drainage systems.

To evaluate the urban drainage systems, sixteen criteria were selected with the help of experts. These criteria were evaluated in two different ways: the performance indicators and the evaluation tables, which are similar to the methods used in audits. The performances of the systems of urban drainage were evaluated according to each criteria and were classified in six dimensions: *legal, economic, environmental, social, sustainable practices and technical*. After this aggregation, it was possible to proceed to a global evaluation of the systems.

The decision support methods selected to provide the evaluation were the method multicriteria and multipurpose ELECTRE TRI and TOPSIS, which allow the classification of the alternatives into categories. The categories used to define the average performance of the urban drainage systems were “excellent”, “very good”, “good”, “regular”, “bad” and “very bad”.

Three different scenarios of urban drainage systems that hypothetically could be deployed in the stream Vaca Brava sub-basin, in the city of Goiânia, were used as case studies. The first scenario consisted in a traditional drainage network, separated from the sewage. The second one added two detention basins to the traditional system, and the third one included some micro reservoirs in each urban lot to help the traditional urban drainage system.

The ELECTRE TRI method indicated the performances as *regular, very good and excellent* to the scenarios I, II and III, respectively. With the TOPSIS method, the performance of scenario I was *good*, and the performances of scenarios II e III were *very good*. These results were consistent and confirmed the expectation of performance through the use of best management practices.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3.1. GESTÃO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS	5
3.2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	16
3.3. MÉTODOS DE AUXÍLIO À DECISÃO	28
4. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	33
4.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA (1ª ETAPA).....	33
4.2. ESCOLHA DO MÉTODO DE AUXÍLIO À DECISÃO (2ª ETAPA).....	34
4.3. DEFINIÇÃO DO(S) MÉTODO(S) MULTICRITÉRIO E MULTIOBJETIVO PARA APLICAÇÃO À PESQUISA (3ª ETAPA).....	35
4.4. LEVANTAMENTO PRELIMINAR DOS OBJETIVOS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA (4ª ETAPA).....	37
4.5. CONSULTA A ESPECIALISTAS E ENQUADRAMENTO DOS CRITÉRIOS SEGUNDO OS OBJETIVOS ESPECÍFICOS SOB DIMENSÕES DE AVALIAÇÃO (5ª ETAPA)	37
4.6. DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA (6ª ETAPA).....	38
4.7. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO, ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO (7ª ETAPA).....	38
5. MÉTODOS MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO	40
5.1. APRESENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO	40
5.2. SELEÇÃO DO MÉTODO MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO.....	46
5.3. MÉTODOS MULTICRITÉRIO E MULTIOBJETIVO APLICADOS À AVALIAÇÃO NAS ÁREAS DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL	60
5.4. MÉTODOS MULTICRITÉRIO E MULTIOBJETIVO APLICADOS EM PESQUISA ASSOCIADAS À DRENAGEM URBANA.....	63
6. IDENTIFICAÇÃO E SELEÇÃO DOS OBJETIVOS E CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA.....	73
6.1. CONSULTA A ESPECIALISTAS.....	76

6.2. DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS	85
7. PROPOSIÇÃO DO PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA.....	91
7.1. DIMENSÃO LEGAL	92
7.2. DIMENSÃO ECONÔMICA	94
7.3. DIMENSÃO SOCIAL	98
7.4. DIMENSÃO AMBIENTAL.....	103
7.5. DIMENSÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS.....	108
7.6. DIMENSÃO TÉCNICA	113
7.7. DEFINIÇÃO DAS CATEGORIAS DE DESEMPENHO SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	118
7.8. APRESENTAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA	123
8. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE APOIO	130
8.1. ESTUDO DE CASO – REGIÃO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO VACA BRAVA, DA CIDADE DE GOIÂNIA-GO.....	130
8.2. AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS SOB OS DIFERENTES CRITÉRIOS	134
8.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CENÁRIO I	143
8.4. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CENÁRIO II.....	145
8.5. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CENÁRIO III.....	147
8.6. COMPARAÇÃO DOS DESEMPENHOS DOS TRÊS CENÁRIOS AVALIADOS	150
8.7. VERIFICAÇÃO DA PERTINÊNCIA DOS MÉTODOS MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO <i>TOPSIS</i> E <i>ELECTRE TRI</i>	153
9 . CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	157
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	161
APÊNDICE A	171
APÊNDICE B	176

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Balanço hídrico afetado pela urbanização (EPA, 2005)	7
Figura 3.2. Alteração do Escoamento em função da Urbanização (EPA, 2005).....	7
Figura 3.3. Sistemas de microdrenagem (boca-de-lobo) e macrodrenagem (canal)	12
Figura 3.4. Características da Avaliação (Adaptado de EVO/BID, 1997)	17
Figura 3.5. Modelo de Avaliação de desempenho (Adaptado de Stoffel, 1997	19
<i>apud</i> Ribeiro, 2000).....	19
Figura 3.6. Funções dos Indicadores de desempenho (Tunstall, 1992,	23
<i>apud</i> Castro <i>et al.</i> 2004)	23
Figura 3.7. O que é <i>Benchmarking</i> ? (Adaptado de Araújo, 2008).....	24
Figura 3.8. Ciclo PDCA (Araújo, 2008).....	26
Figura 4.1. Etapas 1 e 2 da metodologia de pesquisa	35
Figura 4.2. Problemáticas decisórias α , β e γ	36
Figura 4.3. Etapas complementares da metodologia de pesquisa.....	39
Figura 5.1. Alternativas de Referência (<i>b</i>), Critério (<i>i</i>) e Categorias (<i>E</i>)	47
no <i>ELECTRE TRI</i> (Yu e Roy, 1992)	47
Figura 5.2. Índice de concordância $c_i(a,b)$	49
Figura 5.3. Índice de discordância $d_i(a,b)$	50
Figura 5.4. Relação entre <i>a</i> e <i>b</i> a partir de $\sigma_s(a,b)$, $\sigma_s(b,a)$ e λ . (Yu e Roy, 1992).....	51
Figura 5.5. Diagrama de utilização do <i>ELECTRE TRI</i> (Adaptado de Yu e Roy, 1992).	53
Figura 5.6. Distância retangular (p=1) das alternativas de projeto à PIS (Vetschera, 2005)	
.....	57
Figura 5.7. Distância Euclidiana (p=2) das alternativas de projeto à PIS (Vetschera, 2005)	
.....	57
Figura 5.8. Distância de Tchebycheff (p = ∞) das alternativas de projeto à PIS	58
(Vetschera, 2005).....	58
Figura 5.9. Distância das alternativas à solução ideal e anti-ideal	58
(Pomerol e Barba-Romero, 1993).	58
Figura 5.10. Diagrama do processo de auxílio à decisão para seleção de alternativas de drenagem urbana (Adaptado de Azzout <i>et al.</i> , 1995).....	64
Figura 6.1. Avaliação dos objetivos segundo os especialistas	78
Figura 6.2. Avaliação dos critérios segundo os especialistas	79
Figura 6.3. Fases de Implementação da TGN	86
Figura 6.4. Etapas para implementação da Técnica Delphi (Wright e Giovinazzo, 2000) .	87

Figura 7.1. Elementos da avaliação do risco (Kates, 1978)	101
Figura 7.2 – Fluxograma do Modelo de Avaliação de Desempenho Global de Sistemas de Drenagem Urbana.....	123
Figura 8.1. Localização da área de estudo (Adaptado de Milograna, 2001).	131
Figura 8.2. Detalhamento da área de estudo (Adaptado de Milograna, 2001).....	133
Figura 8.3. Desempenhos individuais do Cenário I sob os critérios de avaliação	143
Figura 8.4. Desempenhos Finais do Cenário I.....	144
Figura 8.5. Desempenhos individuais do Cenário II sob os critérios de avaliação	146
Figura 8.6. Desempenhos Finais do Cenário II	146
Figura 8.7. Desempenhos individuais do Cenário III sob os critérios de avaliação.....	148
Figura 8.8. Desempenhos Finais do Cenário III.....	148
Figura 8.9. Comparação dos desempenhos dos cenários com utilização do <i>ELECTRE TRI</i>	150
Figura 8.10. Comparação dos desempenhos dos cenários com utilização do <i>TOPSIS</i>	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Conceito de Canalização x Conceito de Reservação -----	14
Tabela 3.2. Evolução do Conceito de Avaliação -----	16
Tabela 5.1. Enquadramento dos Métodos Multicritério segundo aclassificação de Goicoechea <i>et al.</i> (1982) -----	41
Tabela 5.2. Resumo dos trabalhos revisados com métodos multicritério e multiobjetivo aplicados a avaliação nas áreas de recursos hídricos e saneamento ambiental-----	62
Tabela 5.3. Razões que justificam o uso e o não uso das BMPs -----	71
Tabela 5.4. Resumo dos trabalhos revisados com aplicação de métodos multicritério e multiobjetivo à drenagem urbana-----	72
Tabela 6.1. Objetivos e expectativas associados à drenagem urbana segundo os atores envolvidos-----	74
Tabela 6.2. Objetivos e critérios pré-selecionados para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana -----	75
Tabela 6.3. Avaliação dos objetivos e critérios pré-selecionados pelos especialistas-----	77
Tabela 6.4. Sugestões de critérios para avaliação dos sistemas de drenagem urbana – Parte A -----	82
Tabela 6.4. Sugestões de critérios para avaliação dos sistemas de drenagem urbana – Parte B -----	83
Tabela 6.5. Enquadramento dos critérios segundo as dimensões de avaliação -----	84
Tabela 7.1. Resumo dos critérios selecionados para a avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana -----	91
Tabela 7.2. Leis estaduais de recursos hídricos-----	92
Tabela 7.3. Planilha pontuada para avaliação do atendimento à legislação -----	94
Tabela 7.4. Síntese dos custos de implantação e vida útil das estruturas -----	97
Tabela 7.5. Síntese dos custos de manutenção e operação e vida útil das estruturas-----	98
Tabela 7.6. Planilha pontuada para avaliação da aceitação social do sistema de drenagem urbana-----	100
Tabela 7.7. Doenças ligadas à carência ou precariedade dos serviços de drenagem urbana -----	102
Tabela 7.8. Planilha pontuada para avaliação de risco e vulnerabilidade à saúde pública	103
Tabela 7.9. Poluentes das águas pluviais urbanas e seus efeitos -----	104
Tabela 7.10. Porcentagem média de redução dos poluentes do escoamento superficial--	105

Tabela 7.11. Valores atribuídos aos parâmetros de qualidade da água de acordo com a porcentagem de redução -----	105
Tabela 7.12. Planilha pontuada para avaliação do controle sobre a proliferação de insetos -----	107
Tabela 7.13. Planilha pontuada para avaliação dos problemas de odores -----	108
Tabela 7.14. Planilha pontuada para avaliação o uso de princípios e práticas sustentáveis -----	110
Tabela 7.15. Planilha pontuada para avaliação da possibilidade de <u>e</u> scalonamento dos objetivos ao longo do tempo-----	112
Tabela 7.16. Planilha pontuada para avaliação da possibilidade de <u>m</u> onitoramento da qualidade das águas pluviais urbanas -----	113
Tabela 7.17. Planilha pontuada para avaliação da confiabilidade operacional do sistema	118
Tabela 7.18. Distribuição de intervalos para alocação dos sistemas de drenagem em categorias de desempenho segundo as dimensões de avaliação com aplicação do <i>TOPSIS</i> -----	119
Tabela 7.19. Limites das categorias de desempenho dos critérios de avaliação para aplicação do método <i>ELECTRE TRI</i> -----	122
Tabela 7.20. Pesos dos objetivos de avaliação-----	125
Tabela 7.21. Pesos dos critérios de avaliação-----	126
Tabela 7.22. Parâmetros sugeridos para utilização do <i>ELECTRE TRI</i> -----	128
Tabela 8.1. Quantitativos e custos de implantação associados aos cenários avaliados ---	135
Tabela 8.2. Quantitativos e custos de manutenção associados aos cenários avaliados ---	135
Tabela 8.3. Caracterização das Áreas Existentes-----	140
Tabela 8.4. Relação de áreas impermeáveis e áreas verdes antes <u>e</u> depois da implantação dos sistemas de drenagem urbana -----	141
Tabela 8.5. Alterações na vazão de pico provocadas -----	142
pela implantação dos sistemas de drenagem urbana -----	142
Tabela 8.6. Desempenho dos cenários avaliados em função das variações nos pesos dos critérios com aplicação do <i>TOPSIS</i> -----	154
Tabela 8.7. Desempenho dos cenários avaliados em função das <u>v</u> ariações nos pesos dos critérios com aplicação do <i>ELECTRE TRI</i> -----	154
Tabela 8.8. Resultados da avaliação de desempenho <u>c</u> om variação do parâmetro <i>p</i> do método <i>TOPSIS</i> -----	155
Tabela 8.9. Resultados da avaliação com diferentes -----	156
níveis de corte do método <i>ELECTRE TRI</i> -----	156

LISTA DE NOMENCLATURA E ABREVIACOES

ANN	Artificial Neural Networks
AHP	Analytic Hierarchy Process
BMP	Best Management Practices
BSC	Balanced Scorecard
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSDU	Centro Studi Idraulica Urbana
CP	Compromise Programming
DEHRH	Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos
ELECTRE	Elimination and (et) Choice Translating Reality
ENEA	Ente per Le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente
EPA	Environmental Protection Agency
EVO/BID	Oficina de Evaluacin / Banco Interamericano de Desarrollo
ETA	Estaco de Tratamento de gua
ETE	Estaco de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FGV	Fundao Getlio Vargas
FCTH	Fundao Centro Tecnolgico de Hidráulica
GQT	Gesto pela Qualidade Total
ID	Indicador de Desempenho
IGP	ndice Geral de Preos
INCC	ndice Nacional de Custos na Construo
INSA	Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
ISO	International Organization for Standardization
IWA	International Water Association
NBR	Norma Brasileira
NIS	Negative Ideal Solution
NN	Neural Networks
PAM	Procedimento de Agregaco Multicritério
PDCA	Ciclo Plan – Do – Check – Act
PIS	Positive Ideal Solution
PQSP	Programa da Qualidade nos Servios
PTARH	Programa de Ps-Graduao em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
SSD	Sistema de Suporte a Deciso
TCD	Teoria dos Conjuntos Difusos

TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UnB	Universidade de Brasília
UNDP	United Nations Development Program
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
USAID	International Development Agency of United States
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	Problemáticas Decisórias de Referência
λ	Nível de corte
$\sigma_s(a,b)$	Índice de Credibilidade
a, b, c, x, w, z	Ações ou alternativas
A_D	Área a ser desapropriada par utilização do sistema de drenagem urbana
A_{IA}	Percentual de área impermeável antes da implantação do sistema
A_{ID}	Percentual de área impermeável depois da implantação do sistema
A_{VA}	Percentual de área verde antes da implantação do sistema
A_{VD}	Percentual de área verde depois da implantação do sistema
A_{SDU}	Área a ser ocupada pelo sistema de drenagem urbana
$b_0, b_1, b_2, \dots, b_h$	Alternativas de referência
$c_i(a,b)$	Índice de concordância do critério i
$C(a,b)$	Índice de concordância global
$d_i(a,b)$	Índice de discordância do critério i
$D(a,b)$	Índice de discordância global
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
$d_p^M(a_j)$	Distância a solução ideal
$d_p^m(a_j)$	Distância a solução anti-ideal
d_p	Distância da alternativa ao ponto de referência
$D_p(a_i)$	Taxa de similitude
E^1, E^2, \dots, E^m	Categorias de alocação de alternativas
f	Ponto analisado
f^*	Ponto ideal
$f(x)$	Função qualquer de x
$f(w)$	Função qualquer de w
$f(z)$	Função qualquer de z
I	Indiferença
I_{AMF}	Indicador de alteração do meio físico
I_{UAP}	Indicador de utilização de águas pluviais
I_D	Indicador de desapropriação
I_{QA}	Indicador de qualidade da água
I_{TR}	Indicador do tempo de retorno
I_{VVP}	Indicador de variação na vazão de pico
i_1, i_2, \dots, i_n	Critérios de avaliação
I_k	Limite inferior do Objetivo k

k	Número de dimensões
L_p	Comprimento Métrico
n	Número de intervalos de pagamento
p_i	Limite de preferência para o critério i
p	Parâmetro que indica o tipo de distância utilizada
q_i	Limite de indiferença para o critério i
Q_{PA}	Vazão de pico antes da implantação do sistema
Q_{PD}	Vazão de pico depois da implantação do sistema
R	Incomparabilidade
TN	Nitrogênio Total
TP	Fósforo Total
T_{PA}	Tempo ao pico de vazão antes da implantação do sistema
TPb	Chumbo Total
T_{PD}	Tempo ao pico de vazão depois da implantação do sistema
T_{RD}	Tempo de retorno desejável
T_{RP}	Tempo de retorno de projeto
TSS	Sólidos Suspensos Totais
TZ	Zinco Total
v_i	Limite de veto para o critério i
w_k	Peso do Objetivo k
$>$	Preferência

1. INTRODUÇÃO

Acompanhando a necessidade atual de se gerir adequadamente as águas urbanas, a gestão das águas pluviais tem-se modificado constantemente na busca de novas alternativas de prevenção e controle de inundações.

Um fator agravante no controle das inundações é a intensificação da urbanização, que altera o ciclo hidrológico no ambiente urbana e compromete os sistemas tradicionais de drenagem, pautados basicamente no rápido escoamento dos volumes drenados e na canalização, medidas atualmente insustentáveis frente aos grandes volumes produzidos nos centros urbanos devido fundamentalmente ao aumento das áreas impermeáveis e aos novos paradigmas ambientais, que se valem da sustentabilidade dos cenários urbanos e da preocupação com aspectos sociais e sanitários. Inseridas nesse cenário modificado pela urbanização, as técnicas compensatórias (*Best Management Practices* – BMP) aparecem como alternativas de solução para os problemas de drenagem urbana. Essas alternativas abrangem um vasto universo de possibilidades a respeito das suas funcionalidades, aplicações e seleção.

Diversos centros de pesquisa, nacionais e internacionais, têm desenvolvido amparo científico e tecnológico para tratar a problemática da drenagem urbana, enfocando principalmente a utilização de técnicas compensatórias. Os principais estudos estão associados à seleção de processos e medidas para controle de inundações e ao controle e monitoramento da qualidade das águas pluviais urbanas.

Uma importante ferramenta para o desenvolvimento desses estudos são os métodos de auxílio à decisão. Sua aplicação é bastante usual no processo de seleção das técnicas de drenagem urbana para aplicação em diferentes localidades, considerando suas limitações e particularidades.

Não seria absurdo afirmar que, pelo menos no Brasil, a gestão das águas pluviais urbanas é colocada em segundo plano no desenvolvimento das cidades. Os maiores investimentos são destinados ao tratamento de água e esgoto, que impulsionados pela busca da maximização dos lucros das companhias de saneamento e pela exigência da sociedade, têm

buscado o constante aperfeiçoamento dos produtos e serviços oferecidos. Contudo, as consequências da objeção da gestão das águas pluviais são catastróficas. As inundações atingem a maior parte das grandes cidades brasileiras, evidenciando a precariedade dos sistemas de drenagem existentes e a gravidade da não existência deles.

Os problemas associados aos sistemas de drenagem urbana, como a exposição da população às doenças, ao risco de morte, os prejuízos econômicos e sociais e a degradação dos ambientes naturais motivaram a presente pesquisa. A dissertação apresenta a elaboração de um procedimento de avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana, que tem como objetivo identificar os aspectos positivos e negativos dos sistemas, permitir a proposição de intervenções, mudanças de operação e recomendações que tanto possam minimizar as deficiências bem como destacar os aspectos mais eficientes do sistema de drenagem urbana. Além, também, de promover a melhoria do próprio sistema avaliado, esse processo poderá ser utilizado para aperfeiçoar novos projetos de sistemas de drenagem urbana.

A dissertação está estruturada em Nove Capítulos, sendo o Primeiro a presente Introdução, que apresenta o contexto e a motivação da pesquisa.

O Segundo Capítulo apresenta os Objetivos, Central e Específicos, fundamentais para o delineamento do problema e para estabelecer o procedimento de avaliação dos sistemas de drenagem urbana.

No Terceiro Capítulo, intitulado de Fundamentação Teórica, fez-se uma breve descrição das três temáticas centrais desta dissertação, que são: o manejo das águas pluviais urbanas, os procedimentos e ferramentas utilizados nas avaliações de desempenho e a utilização dos métodos de auxílio à decisão.

No Quarto Capítulo, descreveu-se a metodologia da pesquisa, enumerando as atividades realizadas e evidenciando seu caráter indutivo. A escolha dos métodos de auxílio à decisão multiobjetivo e multicritério é justificada nesse capítulo. O capítulo relata as atividades desenvolvidas cronologicamente.

No Quinto Capítulo, apresentou-se os principais métodos multiobjetivo e multicritério, a seleção dos métodos utilizados na proposição do procedimento de avaliação dos sistemas de drenagem urbana, bem como uma revisão detalhada de alguns trabalhos que utilizaram os métodos multicritério e multiobjetivo aplicados a procedimentos de avaliação de desempenho nas áreas de recursos hídricos e saneamento, assim como trabalhos que tratam a problemática da drenagem urbana.

O Sexto Capítulo propõe a discussão e seleção dos objetivos e critérios utilizados para avaliação dos sistemas de drenagem urbana. O processo proposto é sustentado pela revisão dos trabalhos feitos no Quinto Capítulo, e pela consulta a especialistas, realizada por meio da aplicação de um questionário que apresentava o tema central da pesquisa, possibilitando-os exprimir suas opiniões à respeito da proposição do procedimento de avaliação de sistemas de drenagem urbana.

O Sétimo Capítulo é identificado como o principal desta dissertação, no qual são descritos os procedimentos para utilização dos diferentes critérios selecionados para avaliar o desempenho dos sistemas de drenagem urbana, assim como as etapas que devem ser processadas para que se tenha uma resposta da avaliação.

No Oitavo Capítulo, o procedimento de avaliação é aplicado a três sistemas de drenagem urbana aplicáveis a uma região da sub-bacia do córrego Vaca Brava, do município de Goiânia-GO, como estudos de caso. São apresentados os desempenhos dos sistemas de drenagem e a verificação do procedimento de avaliação.

No Nono Capítulo, são apresentadas as conclusões observadas no desenvolvimento desta dissertação e as recomendações para melhoria do processo de avaliação dos sistemas de drenagem urbana.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e testar um procedimento de avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana.

2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos propostos são:

- 1) analisar os diferentes métodos de apoio à decisão e selecionar algum que se adapte ao problema proposto;
- 2) estudar o conceito e as técnicas de avaliação de desempenho em geral, e, em particular, aquelas que se apliquem ao manejo de águas pluviais, e utilizá-las no desenvolvimento do procedimento de avaliação;
- 3) identificar e selecionar, com auxílio de especialistas, os principais critérios para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem;
- 4) analisar, identificar e propor procedimentos que permitam quantificar o desempenho dos sistemas de drenagem sob os critérios utilizados para avaliação;
- 5) avaliar o procedimento de avaliação de desempenho proposto, utilizando cenários reais de gestão e manejo de águas pluviais com um estudo de caso.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo, são apresentados os principais conceitos e definições que contextualizam o procedimento de avaliação de desempenho dos sistemas de drenagem urbana. Primeiramente, faz-se a apresentação do manejo das águas pluviais urbanas, relatando as interferências provocadas pela urbanização, as principais medidas de controle de inundações e a modificação do pensamento de concepção dos sistemas de drenagem urbana. Em seguida, é apresentada a evolução do conceito de avaliação, os principais tipos de avaliação de desempenho e as ferramentas utilizadas para as avaliações. Por fim, são descritos os principais métodos de auxílio que podem ser utilizados na proposição do procedimento de avaliação. Nos capítulos seguintes, serão apresentadas pesquisas revisadas que tenham utilidades e conteúdos semelhantes aos da presente dissertação.

3.1. GESTÃO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

Ao longo da história humana, as cidades sempre estiveram associadas aos cursos d'água, fundamentais na sedentarização das populações. De forma elementar, pode-se constatar a utilidade dos corpos d'água em suprir as necessidades alimentares e higiênicas dos integrantes das cidades. A sustentabilidade de outrora não se estabelece mais entre os aglomerados urbanos e os corpos d'água, e os problemas decorrentes desse desequilíbrio carecem de soluções. Por isso, o desenvolvimento da gestão e do manejo das águas pluviais urbanas é inevitável. Alguns conceitos relacionados à drenagem urbana serão discutidos a seguir.

3.1.1. As Inundações e a Urbanização

As inundações podem ser oriundas de fontes distintas. Algumas são de origem natural, chamadas de *inundações naturais* e acontecem independentes da presença do homem, como consequência de precipitações intensas e à baixa capacidade de infiltração dos solos. Outras são afetadas por ações antrópicas, que podem atenuar ou amplificar a magnitude da inundação e, são chamadas de *inundações naturais modificadas*. Existem, também, as *inundações induzidas*, que são aquelas provocadas estritamente pela ação humana, como por exemplo, no caso de alteração de operação de uma barragem ou uma represa.

As condições meteorológicas e hidrológicas propiciam a ocorrência de inundações. O conhecimento do comportamento meteorológico em longo prazo é pequeno, devido às incertezas associadas ao grande número de fatores envolvidos nos fenômenos meteorológicos e da interdependência dos processos físicos a que a atmosfera terrestre está sujeita.

As condições hidrológicas associadas às inundações podem ser naturais ou artificiais. As condições naturais são aquelas em que a ocorrência de inundação é propiciada pela bacia em seu estado natural, a exemplo do tipo de relevo, de precipitação, capacidade de drenagem e cobertura vegetal. Já as condições hidrológicas artificiais da bacia são aquelas provocadas pela ação antrópica: obras hidráulicas, desmatamento, reflorestamento, uso agrícola, urbanização, entre outros (SNSA, 2006).

Associada às inundações, a urbanização provoca uma série de impactos, devido ao aumento de áreas impermeáveis, ocupação do solo e a construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento urbano pode ainda produzir obstruções ao escoamento, como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções de condutos e assoreamento do leito dos rios. Montenegro e Tucci (2005) descrevem os principais impactos da urbanização:

- 1) aumento das vazões máximas (em cerca de seis vezes) e de sua frequência, decorrente do aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais, e da impermeabilização do solo;
- 2) aumento da erosão, da produção de sedimentos e de resíduos sólidos urbanos;
- 3) deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, em virtude da lavagem das ruas, do transporte de material sólido e das ligações clandestinas de esgoto doméstico e pluvial e da contaminação de aquíferos.

A *Environmental Protection Agency* (EPA), agência norte americana de proteção ambiental, é responsável por uma série de estudos que discorrem sobre os efeitos da urbanização nas inundações urbanas. As Figuras 3.1 e 3.2 apresentam alguns desses efeitos.

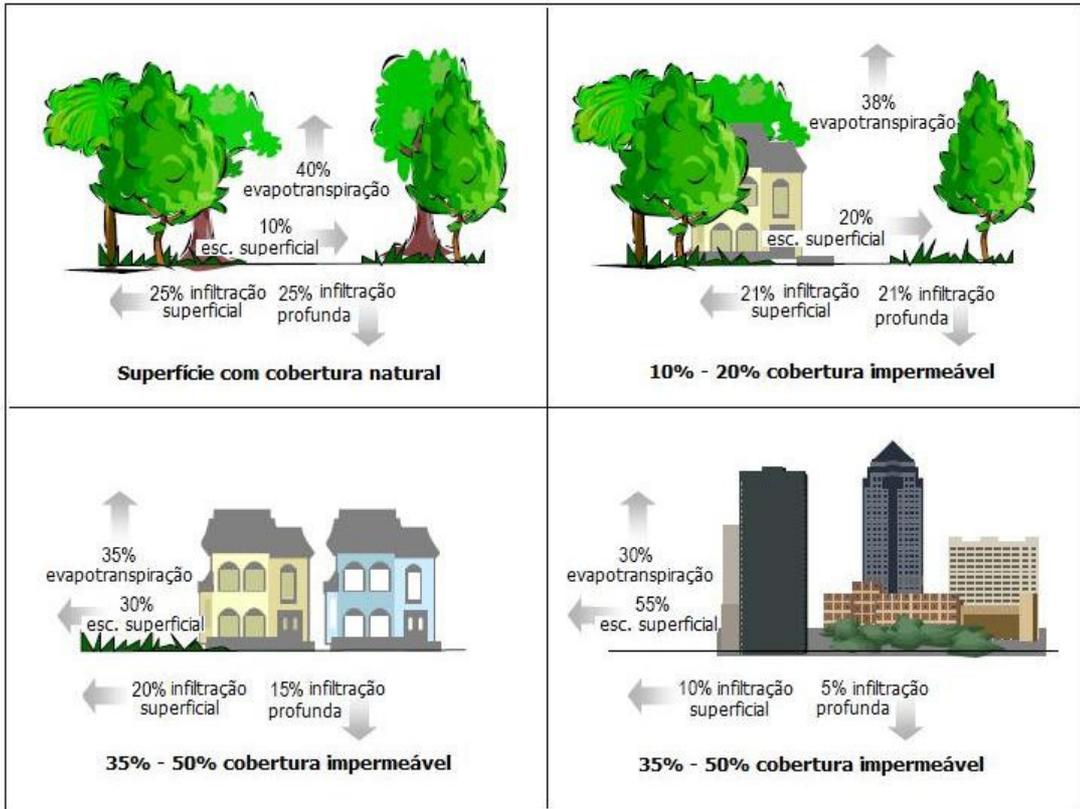


Figura 3.1. Balanço hídrico afetado pela urbanização (EPA, 2005)

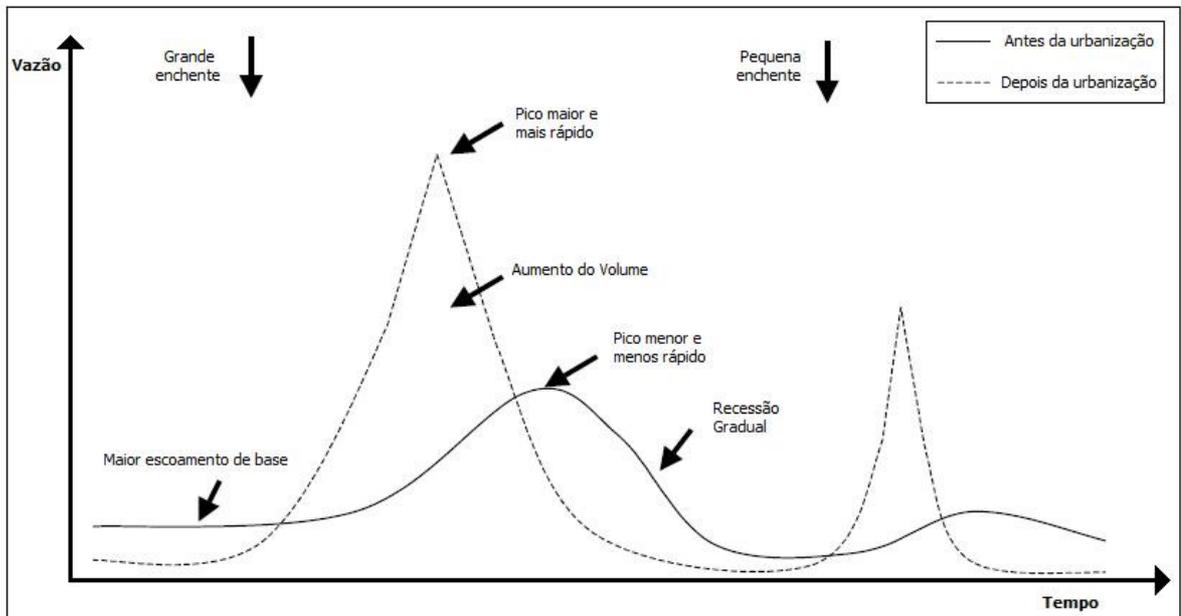


Figura 3.2. Alteração do Escoamento em função da Urbanização (EPA, 2005)

3.1.2. Medidas de Controle das Inundações

O controle de inundações pode ser abordado por medidas *estruturais* e *não-estruturais*. As estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial (ou o meio ambiente) através de obras na bacia (medidas extensivas), ou então no próprio rio (medidas intensivas) para evitar o extravasamento do escoamento para o leito maior decorrente das enchentes. Já as não-estruturais são aquelas que possibilitam um melhor convívio da população com os eventos de inundação, sem que haja alteração do meio físico, reduzindo os prejuízos através de medidas preventivas (Tucci, 2007; Baptista *et al.*, 2005a).

É inimaginável o controle total das inundações. Assim, todas as medidas, sejam elas estruturais ou não-estruturais, visam minimizar as consequências das inundações. A gestão da inundação é obtida por uma combinação de medidas estruturais e não-estruturais que permita diminuir as perdas da população e manter uma relação harmônica com o rio.

3.1.2.1. Medidas Estruturais

As medidas estruturais podem ser extensivas ou intensivas. As extensivas atuam na bacia e modificam as relações entre precipitação e vazão, tentando reduzir e retardar os picos de enchente e controlar a erosão na bacia. Tais medidas atuam principalmente no controle de inundações frequentes (com baixo tempo de retorno). Como exemplo desse tipo de medida, pode-se citar a alteração de cobertura vegetal com reflorestamento e o controle de perda de solo através de medidas de conservação.

As medidas estruturais intensivas atuam no rio e podem ser de quatro tipos: medidas que *aceleram o escoamento*, como a construção de diques e *polders*, aumento da condutância dos rios e da declividade; medidas que *amortecem e retardam o escoamento*, como reservatórios e bacias de amortecimento; medidas de *desvio* do escoamento, que são obras como canais de desvios, que transferem o escoamento para outras bacias ou trechos de rios e; medidas que englobem a *introdução de ações individuais*, visando tornar as edificações à prova de enchentes (Tucci, 2007; Canholi, 2005).

3.1.2.2. Medidas Não-estruturais

As medidas não-estruturais podem reduzir significativamente os prejuízos causados por inundações com custos sensivelmente menores que os envolvidos na implantação de medidas estruturais. Essas medidas têm como propósitos principais a redução de perdas de vidas humanas e a redução de danos às propriedades com adoção de medidas de preparo, resposta, legislação e financiamento (Adjelkovic, 2001). As medidas não estruturais são basicamente ações preventivas, como o gerenciamento de desastres, previsão e alerta de inundações, seguros, proteção individual (*flood proofing*) e zoneamento de áreas de risco de inundação.

Gerenciamento de desastres

O gerenciamento de desastres está ligado à vulnerabilidade da população e ao fator aleatório do risco de inundação. A vulnerabilidade pode ser considerada como um fenômeno dinâmico, que depende do tipo de ocupação existente na planície de inundação, enquanto que o risco está ligado às condições hidrológicas da bacia hidrográfica. O gerenciamento dos desastres urbanos, categoria que inclui as inundações urbanas, deve ser compartilhado por todos os setores que têm conexão com o desenvolvimento e com as mudanças na política urbana. Assim, é possível reduzir a vulnerabilidade pela integração de medidas de sobrevivência, reabilitação e reconstrução dentro do planejamento do desenvolvimento urbano, e pela definição dos riscos aceitáveis baseados em uma análise quantitativa que inclua os custos dos danos decorrentes das inundações (Milograna, 2009).

Previsão e alerta de inundações

A previsão e alerta de cheia é composta por um sistema de monitoramento composto de pessoal técnico e procedimentos para aquisição e análise dos dados de precipitação e vazão para previsão das inundações. O sistema de previsão pode ser composto de modelagem matemática para conversão das informações em um mapa de risco indicando as áreas a serem inundadas, para posterior distribuição de avisos às instituições e comunidades envolvidas. Essencialmente, o sistema conta com uma política de disseminação da informação; um plano emergencial em que são identificadas as ações a serem tomadas

antes, durante e imediatamente após a ocorrência da inundação; e um programa de manutenção do gerenciamento das inundações (Andjelkovic, 2001; Milograna, 2009).

Seguro contra inundações

Os seguros contra inundações propõem a compensação financeira pelas perdas causadas quando os danos previstos são superiores aos valores aceitáveis. A vantagem dessa medida está no fato de que o capital empregado normalmente é inferior aos investimentos requeridos para implantação de medidas estruturais, sua utilização não provoca qualquer interferência na natureza (Thampapillai e Musgrave, 1985 *apud* Milograna, 2009).

Flood Proofing

Flood Proofing refere-se à utilização de técnicas permanentes, eventuais e de emergência utilizadas tanto para prevenir a entrada da água pluvial nas edificações e na infraestrutura, quanto para minimizar os danos decorrentes do escoamento e do contato com as águas pluviais por meio da preparação da edificação em si. A elevação do nível das edificações, a construção de barreiras físicas para impedir a entrada das águas das chuvas são algumas ações que se enquadram nesse tipo de medida não-estrutural. A utilização de *flood proofing* complementa ações de zoneamento e é feita também em locais em que não há como prevenir o risco de inundações de outras formas, como na proteção de prédios históricos, por exemplo (FEMA, 1981).

Zoneamento

O zoneamento é um instrumento legal de regulação do uso do solo por meio de partições espaciais, as quais são conferidas possibilidades e proibições. A sua utilização possui maior apelo em situações em que o risco é claramente definido e contam com o apoio da população. O gerenciamento do uso do solo busca a alteração dos padrões de ocupação da planície de inundação para o desenvolvimento atual e futuro. O controle do zoneamento, sob responsabilidade do poder público, institui que tipo de atividade poderá ser instalada dentro da bacia hidrográfica levando-se em consideração o controle de inundação, contemplando os aspectos de risco, econômicos, sociais e ambientais. O poder público deverá impor as condições de ocupação apropriadas para assegurar que o desenvolvimento

futuro seja compatível com os riscos de inundações predominantes na bacia. Dentre as restrições para as áreas de interesse, no tocante à gestão das águas pluviais, podem ser citadas as delimitações de áreas para implantação de estruturas de armazenamento ou a previsão de áreas de interesse para o favorecimento dos processos de infiltração das águas pluviais (Baptista *et al.*, 2005a; Milograna, 2009).

3.1.3. A Gestão de Águas Pluviais

No contexto do presente trabalho, faz-se necessária uma abordagem relativa à situação das águas pluviais urbanas. O adequado gerenciamento dessas águas associa-se a ações conjuntas de drenagem urbana, tratamentos de água e esgoto, bem como manejo e disposição de resíduos sólidos.

À luz da Lei de Saneamento Básico, Lei n. 11.445, Janeiro de 2007, pode-se afirmar que o manejo e a gestão das águas pluviais urbanas, em consonância com os serviços públicos de saneamento básico, devem ser pautados nos seguintes princípios fundamentais:

- 1) universalização do acesso;
- 2) integralidade de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, que devem ser oferecidos, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados;
- 3) abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
- 4) disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e dos patrimônios público e privado;
- 5) adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- 6) articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;
- 7) eficiência e sustentabilidade econômica;
- 8) utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;

- 9) transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;
- 10) controle social;
- 11) segurança, qualidade e regularidade;
- 12) integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Ainda no texto da Lei de Saneamento (2007), pode ser vista uma pequena reflexão à respeito da cobrança dos serviços de drenagem urbana, que deve ser estabelecida levando em conta, em cada lote urbano, os percentuais de área impermeabilizada, a existência de dispositivos de amortecimento ou retenção de água de chuva, o nível de renda da população da área atendida, as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas. A gestão das águas pluviais urbanas deve caminhar em direção à sustentabilidade, adaptada à evolução dos ambientes urbanos e aos demais componentes do saneamento básico.

3.1.4. Sistemas de Drenagem Urbana

Tradicionalmente no manejo das águas pluviais urbanas são apresentados dois sistemas distintos que devem ser analisados e projetados sob critérios diferentes: o sistema de microdrenagem e o de macrodrenagem (Figura 3.3).



Figura 3.3. Sistemas de microdrenagem (boca-de-lobo) e macrodrenagem (canal)

O sistema de microdrenagem, também chamado de sistema inicial de drenagem ou sistema coletor de águas pluviais, é aquele composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas,

bocas-de-lobo, rede de galerias de águas pluviais e, também, canais de pequenas dimensões.

O sistema de macrodrenagem é constituído por canais de maiores dimensões, sejam eles abertos ou fechados. Esses sistemas encaixam-se no contexto do controle do *escoamento superficial direto*, tendo como base o enfoque orientado para o aumento da condutividade hidráulica do sistema de drenagem. As tendências modernas desse controle, que já vêm amplamente aplicadas ou preconizadas internacionalmente, passam a dar ênfase ao enfoque orientado para o armazenamento das águas por estruturas de detenção ou retenção (FCTH, 1999).

As diretrizes gerais de projeto de drenagem urbana podem ser classificadas segundo os conceitos de *canalização e reservação*.

A idéia central do conceito de *canalização* refere-se à prática convencional, amplamente utilizada em todo o mundo e principalmente no Brasil, voltada à implantação de galerias e canais de concreto; ao tamponamento dos córregos; à retificação de traçados e ao aumento de declividades de fundo e demais intervenções, que visavam, prioritariamente, promover o afastamento rápido dos escoamentos e, ainda, o aproveitamento dos fundos de vale como vias de tráfego.

O conceito de *reservação* foca suas ações na contenção da água na própria bacia, adotando medidas globais e localizadas de forma combinada e complementar (Canholi, 2005). São utilizadas estruturas de armazenamento e retenção das águas pluviais como bacias de detenção, telhados reservatórios, trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis, entre outros.

A diferença observada entre os conceitos não é puramente técnica, trata-se de um embate de concepções e pensamentos. Enquanto os conceitos de canalização carregam uma visão imediatista do problema de drenagem urbana, por muitas vezes propondo soluções “egoístas”, sem considerar outras bacias hidrográficas ou até mesmo a população de jusante na própria bacia, com o propósito central de retirar a água excedente do sistema, os conceitos de reservação incorporam um pensamento amadurecido de sustentabilidade, tratando o problema de uma forma dispersa e socializada, absorvendo os problemas

decorrentes pelas inundações na própria bacia e se preocupando com a proteção e segurança de toda a população envolvida, inclusive as populações de jusante. A Tabela 3.1 resume as principais diferenças técnicas entre os dois conceitos.

Tabela 3.1. Conceito de Canalização x Conceito de Reservação

CARACTERÍSTICAS	CANALIZAÇÃO	RESERVAÇÃO
Função	- <i>Remoção rápida dos escoamentos</i>	- <i>Contenção temporária para subsequente liberação</i>
Componentes Principais	- <i>Canais abertos / galerias</i>	- <i>Reservatórios a superfície livre</i> - <i>Reservatórios subterrâneos</i> - <i>Retenção sub-superficial</i>
Aplicabilidade	- <i>Instalação em áreas novas</i> - <i>Construção por fases</i> - <i>Ampliação de capacidade pode se tornar difícil (centros urbanos)</i>	- <i>Áreas novas (em implantação)</i> - <i>Construção por fases</i> - <i>Áreas existentes (à superfície ou subterrâneas)</i>
Impacto nos trechos de jusante (quantidade)	- <i>Aumenta significativamente os picos das enchentes em relação à condição anterior</i> - <i>Maiores obras nos sistemas de jusante</i>	- <i>Áreas novas: podem ser dimensionadas para impacto zero (Legislação E.U.A.)</i> - <i>Reabilitação de sistemas: podem tornar vazões a jusante compatíveis com capacidade disponível</i>
Impacto nos trechos de jusante (qualidade)	- <i>Transporta para o corpo receptor toda carga poluente afluyente</i>	- <i>Facilita remoção de material flutuante por concentração em áreas de recirculação dos reservatórios e dos sólidos em suspensão, pelo processo natural de decantação</i>
Manutenção e Operação	- <i>Manutenção em geral pouco freqüente (pode ocorrer excesso de assoreamento e de lixo)</i> <i>Manutenção nas galerias é difícil (condições de acesso)</i>	- <i>Necessária limpeza periódica</i> - <i>Necessária fiscalização</i> - <i>Sistemas de bombeamento requerem operação/manutenção</i> - <i>Desinfecção eventual (insetos)</i>
Estudos hidrológicos e hidráulicos	- <i>Requer definição dos picos de enchente</i>	- <i>Requer definição dos hidrogramas (volumes das enchentes)</i>

Fonte: Canholi, 2005.

3.1.4.1. Sistemas Clássicos de Drenagem Urbana

Seguindo os conceitos de canalização, tradicionalmente adotou-se a recomendação da rápida evacuação das águas pluviais e servidas das áreas urbanas, por meio de condutos, preferencialmente subterrâneos, como forma de conservar os preceitos higienistas, sem a presença nociva da água à superfície das ruas, ao mesmo tempo em que se efetuará a prevenção de doenças de veiculação hídrica. Essa forma de proceder vigora até hoje em

algumas localidades, ainda que modificada por aportes tecnológicos e científicos, como a análise de risco ou a adoção de sistema separador para o esgoto pluvial e as águas residuárias domésticas. Esse tipo de procedimento é a base dos chamados *sistemas clássicos de drenagem urbana* (Baptista *et al.*, 2005a).

A urbanização intensa observada ao longo de século XX evidenciou os limites das soluções clássicas de drenagem urbana. Ao retirar rapidamente as águas pluviais das áreas urbanas, transferem-se os problemas de inundação para jusante, como resultado, novas obras de drenagem devem ser construídas a jusante, gerando custos que devem ser arcados por toda a comunidade. A canalização de cursos d'água gera na população a falsa idéia de segurança no que diz respeito às inundações, facilitando a ocupação das áreas ribeirinhas. A ocorrência de inundações nessas áreas resulta em perdas humanas e em prejuízos econômicos consideráveis.

Normalmente, as soluções clássicas não contemplam os problemas de qualidade de água. São comuns os problemas de inadequação do funcionamento do sistema de drenagem causados por deposição de sedimentos, que têm origem em processos erosivos intensificados pela urbanização ou por deficiências nos sistemas de limpeza urbana. As soluções clássicas conduzem, muitas vezes, à situações irreversíveis que limitam outros usos presentes ou futuros da água em meio urbano.

3.1.4.2. Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana

Devido à limitação das técnicas tradicionais de drenagem urbana, novas abordagens foram desenvolvidas, sobretudo na América do Norte e na Europa. Trata-se do conceito de *tecnologias alternativas* ou *compensatórias* de drenagem urbana (*Best Management Practices – BMP*), que buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental. Essas alternativas abordam os impactos da urbanização de forma global, tomando a bacia hidrográfica como base de estudo (Baptista, *et al.*, 2005a; Baptista *et al.*, 2007; Canholi, 2005 e Campana *et al.*, 2008).

A compensação é feita pelo controle da produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização e evitando-se sua transferência rápida para jusante. Essas tecnologias

alternativas, também conhecidas como *medidas não convencionais*, normalmente, visam incrementar o processo da infiltração; reter os escoamentos em reservatórios; ou retardar o fluxo nas calhas dos córregos e rios. Também são adotadas as medidas destinadas a proteger as áreas baixas e derivar os escoamentos. As técnicas compensatórias podem ser aplicadas em escalas de diferentes magnitudes, sendo compostas por ações individuais e localizadas e, também, por grandes intervenções coletivas (Canholi, 2005).

3.2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Tradicionalmente percebida com um enfoque unidimensional, feita por um avaliador, especialista em determinada área, a avaliação caminha para uma abordagem metodológica multidimensional, onde existem vários avaliadores, vários objetos e processos sob avaliação e vários interesses associados ao resultado da avaliação.

A avaliação pode ser vista como uma ferramenta metodológica que aplica métodos rigorosos destinados a analisar e determinar o progresso de um determinado projeto, ou de um processo, adotando um critério de julgamento que considere os pontos de vista dos agentes envolvidos (EVO/BID, 1997). A Tabela 3.2 apresenta uma breve evolução do conceito de avaliação.

Tabela 3.2. Evolução do Conceito de Avaliação

ETAPA	CARACTERÍSTICA	INTERESSE
1ª Geração (Final do Século XIX)	<i>Medição</i>	Identificação de um nível de alcance dos objetivos específicos, utilizando uma medida quantitativa com instrumentos unimodais.
2ª Geração (De 1920 a 1950)	<i>Descrição e Comparação</i>	Identificação dos aspectos otimizadores e limitantes, em relação aos objetivos estabelecidos; comparação de enfoques usando meios experimentais ou de fenômenos em grupo ou situação de ocorrência natural.
3ª Geração (De 1950 a 1980)	<i>Serviços de Valor</i>	Comparação de múltiplos resultados com metas e normas estabelecidas <i>a priori</i> ; avaliação normativa, que relaciona com dados de referência e indicadores.
4ª Geração (A partir de 1980)	<i>Transparência, responsabilidade executiva e desempenho</i>	Transparência, responsabilidade executiva e desempenho, coordenados por meio da análise dos dados disponíveis utilizando vários métodos e formas de medições múltiplas, e incorporando o conhecimento, as perspectivas e os valores de todos os envolvidos.

Adaptada de EVO/BID, 1997 e Brostel, 2002.

A avaliação deve ser analisada como um processo dinâmico, que se desenvolve ao longo de todas as etapas de um empreendimento, e que tem por objetivo a obtenção de informações que permitam alocar ações e procedimentos, visando a excelência no desempenho (Brostel, 2002).

Para que os propósitos do processo de avaliação sejam alcançados e os objetivos atendidos, deve-se garantir que a avaliação possua as seguintes características: Credibilidade, Utilidade, Participação, Retroalimentação e Custo Eficaz (EVO/BID, 1997). A Figura 3.4 apresenta esses conceitos.

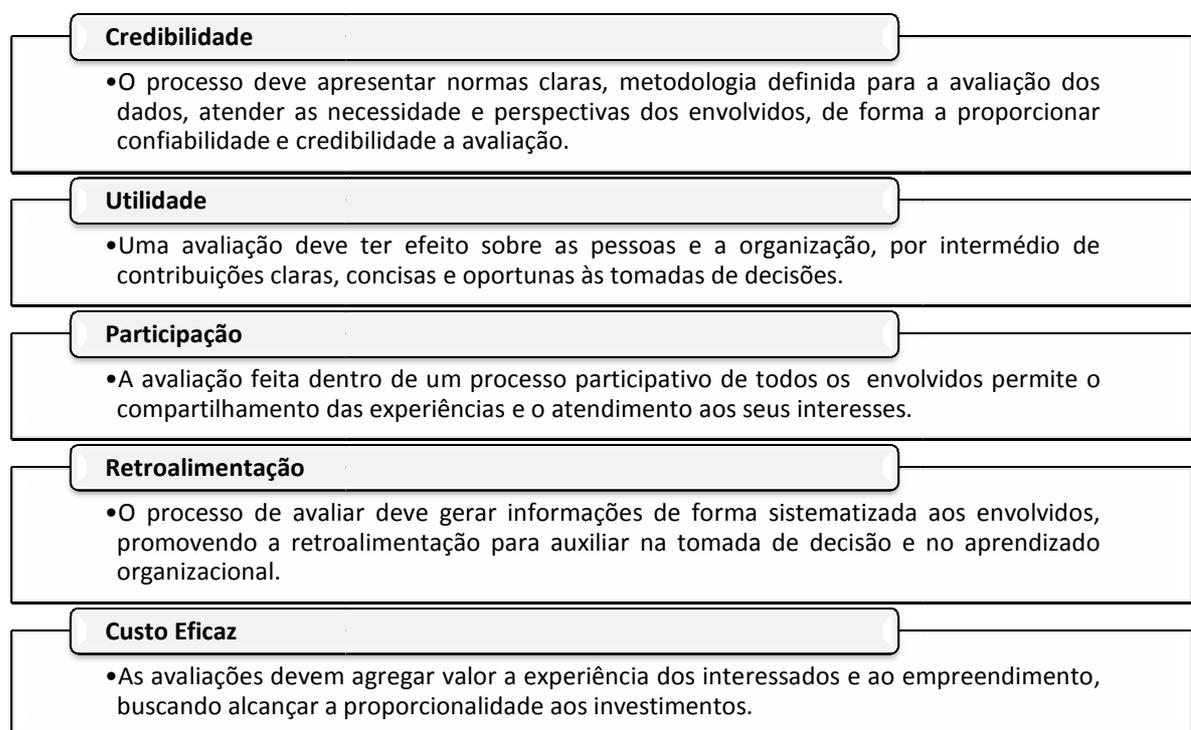


Figura 3.4. Características da Avaliação (Adaptado de EVO/BID, 1997)

3.2.1. Tipos de Avaliação de Desempenho

A avaliação de desempenho é uma conduta que pode ser observada em qualquer nível organizacional, mesmo que, em alguns casos, seja pautada em conceitos subjetivos e inexatos, em função do despreparo do avaliador e da dificuldade de obtenção de informação acerca do instrumento ou serviço avaliado. Sua aplicação permite a elaboração de novos direcionamentos e reorientações no processo conceitual de produtos e serviços.

Na busca pela qualidade, produtividade e competitividade empresarial, administradores e pesquisadores têm buscado técnicas modernas de administração, como os programas de qualidade total, reengenharia, *downsizing* e *benchmarking*, que possam auxiliar as organizações no sucesso pela busca da excelência, com oferta de eficiência e eficácia (Ribeiro, 2000). Assim, a avaliação de desempenho pode ser especialmente valorizada como suporte no processo de gestão organizacional.

A avaliação de desempenho se estabelece nas esferas individuais, grupais ou organizacionais, considerando que o desempenho organizacional resulta da sinergia entre os desempenhos grupais, e esses resultam da sinergia entre os desempenhos individuais.

Em nível individual, a avaliação de desempenho deve fazer parte da avaliação de desempenho organizacional, produzindo uma inter-relação entre as metodologias utilizadas em cada nível, permitindo a sua introdução no plano estratégico da empresa (Guimarães, 1998 *apud* Ribeiro, 2000).

Além de estar inserida no planejamento estratégico da empresa, a avaliação de desempenho deve considerar alguns aspectos que promovem o sucesso de uma entidade:

- 1) competência;
- 2) capacidade inovadora;
- 3) desempenho positivo da força de trabalho.

Os modelos de gestão de desempenho organizacional fundamentam-se em um ciclo contínuo de planejamento, acompanhamento e avaliação. As atividades de avaliação são planejadas, com o estabelecimento de metas, controles e provimento de recursos, em seguida, implementadas, resultando na identificação dos possíveis empecilhos, que serão objetos de aperfeiçoamento, e das variáveis interferentes no desempenho.

A Figura 3.5 descreve um modelo básico de avaliação de desempenho. Esse tipo de modelo pode ser aplicado em qualquer nível de avaliação de desempenho (individual, grupal ou organizacional) e não foca exclusivamente os resultados, mas também a evolução do processo (Ribeiro, 2000).

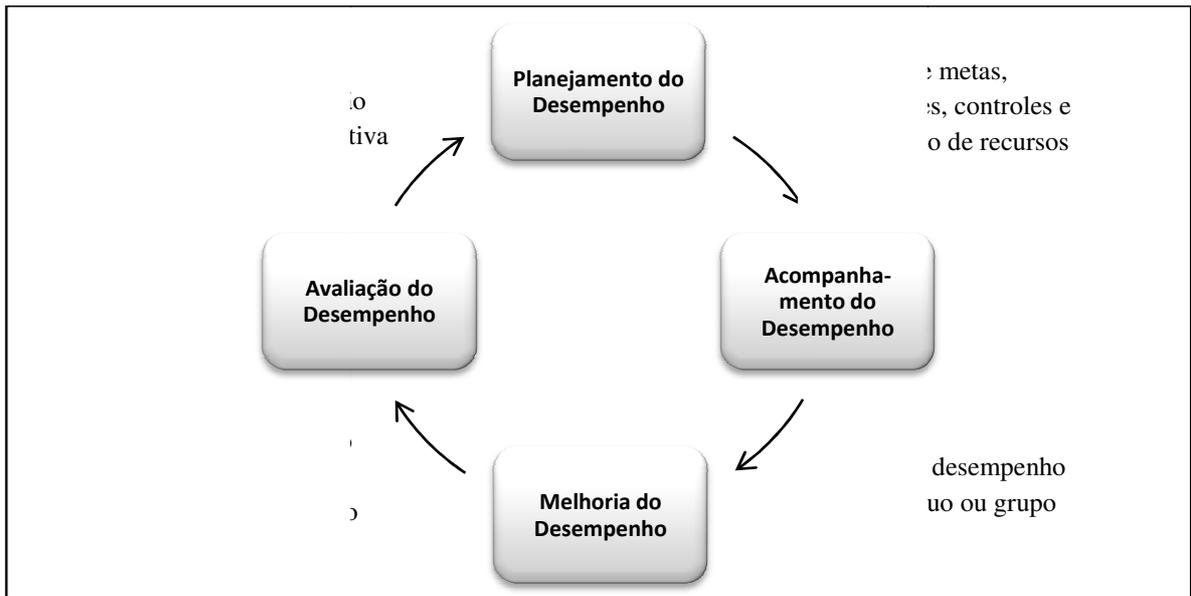


Figura 3.5. Modelo de Avaliação de desempenho (Adaptado de Stoffel, 1997 *apud* Ribeiro, 2000)

O Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) adota outro procedimento de avaliação de desempenho, frequentemente aplicado na avaliação de empreendimentos, denominado de Matriz de Marco Lógico. Esse modelo, produzido pela Agência para o Desenvolvimento Internacional dos Estados Unidos (USAID) no final dos anos 70, possui algumas vantagens: clareza na relação de meios/fins das atividades do projeto, que conduzem a produtos/componentes requeridos para alcançar o propósito e o fim estabelecidos; especificação precisa das atividades e de seus custos; descrição de indicadores de desempenho; especificação das suposições e riscos envolvidos; e, definição de um marco de referência para identificar as experiências adquiridas e incorporá-las a outros projetos (EVO/BID, 1997).

A metodologia da Matriz de Marco Lógico estrutura-se de forma a atuar em todas as etapas de um empreendimento: a de preparação, a concorrente e a posterior. Em cada uma dessas etapas é desenvolvida uma matriz de avaliação, com objetivos e características específicas, que determinam a eficácia e o impacto do empreendimento. Por fim, é feita uma avaliação do impacto sobre o desenvolvimento e os resultados são integrados na formulação de novos projetos. Esse modelo consiste num sistema de avaliação dinâmico, que visa o desenvolvimento da capacidade da instituição (EVO/BID, 1997).

3.2.2. Avaliação do desempenho organizacional

Ao longo dos anos, a medida do desempenho empresarial esteve vinculada a indicadores financeiros e contábeis. Eccles (2000) afirma que uma das principais razões para que os indicadores financeiros tenham peso significativo sobre o desempenho é a crença de que eles são critérios uniformes e comparáveis, o que constituiria uma base para processos decisórios. Entretanto, essa afirmação pode não ser tão correta na prática, devido aos diferentes métodos contábeis que podem ser aplicados para obtenção desses indicadores, e em alguns casos, devido a situações de manipulação que podem ocorrer para disfarçar a situação da empresa. Assim, as mudanças nas organizações advindas da necessidade de satisfazer o cliente e da busca por excelência nos produtos e serviços prestados, tornaram-se valores agregados, que devem ser considerados na avaliação de desempenho empresarial.

Kaplan e Norton (1997) desenvolveram um sistema de avaliação de desempenho em 1992, que se aplica especificamente a organizações, propuseram a avaliação segundo quatro perspectivas: a financeira, a do cliente, a interna e de inovação e aprendizado. O sistema, batizado como *Balanced Scorecard (BSC)*, adota medidas equilibradas entre os objetivos de longo e de curto prazo, entre as medidas financeiras e não financeiras, entre os indicadores de tendência e de ocorrência e entre as perspectivas internas e externas.

Segundo Chiavenato e Sapiro (2004), o *BSC* pode ser visto como um sistema de avaliação de desempenho organizacional que considera os indicadores financeiros, por si mesmos, insuficientes para refletir a efetividade da organização. De acordo com esses autores, o *BSC* é uma metodologia baseada no equilíbrio organizacional e se fundamenta no balanceamento entre as quatro diferentes perspectivas apresentadas por Kaplan e Norton (1997), que são:

- 1) Perspectiva Financeira - reflete como a organização é vista por seus acionistas ou proprietários. Os indicadores devem mostrar de que forma a estratégia organizacional está contribuindo para melhoria dos resultados, através da lucratividade, retorno sobre investimentos, fluxo de caixa, retorno sobre o capital, entre outros.

2) Perspectiva do Cliente - como a organização é vista pelos clientes e como ela pode atendê-los da melhor forma possível. Os indicadores devem mostrar se os serviços e produtos ofertados estão de acordo com o propósito da organização. Como exemplos: têm-se a satisfação do cliente, cumprimento de prazos de entrega, participação no mercado, acompanhamento de tendências e aquisição de novos clientes.

3) Perspectiva dos Processos Internos - indica os processos de negócios que a organização precisa ter excelência. Os indicadores devem mostrar se os processos e a operação estão alinhados e se estão gerando valor. Tal perspectiva pode ser identificada pela qualidade, produtividade, logística, comunicação interna e interfaces.

4) Perspectiva da inovação e aprendizagem - refere-se à capacidade da organização para melhorar continuamente e se preparar para o futuro. Os indicadores devem apresentar de que maneira a organização pode aprender e desenvolver-se para garantir o crescimento. Essa perspectiva pode ser notada através de índices de renovação de produtos, desenvolvimento de processos internos, inovação, competências e motivação das pessoas.

A utilização do *BSC* possibilita associar informações financeiras que traduzem a *performance* do passado com informações que impulsionam o futuro. É possível adicionar novas perspectivas quando o setor ou a estratégia da unidade de negócio indicar a necessidade de se avaliar algum desempenho crítico (Kaplan e Norton, 1997). Brostel (2002) destaca como exemplo de nova perspectiva, a necessidade de se considerar os fatores ambientais em trabalhos da área de saneamento, na qual as questões ambientais são fundamentais no atendimento de alguns objetivos, devendo assim ser incorporado a avaliação como uma nova perspectiva.

3.2.3. Técnicas aplicáveis na melhoria do desempenho organizacional

Nos últimos anos, diferentes técnicas como as Auditorias, Indicadores de Desempenho (ID), *Benchmarking*, Gestão pela Qualidade Total (GQT) têm sido utilizadas na avaliação de organizações, no presente trabalho espera-se avaliar o desempenho de alternativas de sistemas de drenagem e para isso, essas técnicas podem ser ferramentas importantes no desenvolvimento da metodologia. A seguir, essas técnicas serão apresentadas.

3.2.3.1. Auditoria

Segundo a ISO 9000 (2000), a auditoria pode ser definida como um “*processo sistemático, documentado e independente, para obter evidências da auditoria e avaliá-la objetivamente para determinar a extensão na qual os critérios da auditoria são atendidos*”. A auditoria permite avaliar a eficácia do sistema de gestão de qualidade e identificar oportunidades de melhoria. As auditorias utilizam critérios como referência que podem ser um conjunto de políticas, procedimentos ou requisitos. A análise desses critérios faz-se por meio de evidências, que podem ser registros, apresentação de fatos ou outras informações pertinentes e verificáveis, que tanto podem ser quantitativas como qualitativas.

Quando a auditoria é feita pela própria organização, ou em seu nome, para propósitos internos, ela é chamada de *auditoria de primeira parte* e pode auxiliar em uma auto-declaração da conformidade da organização. As *auditorias de segunda parte* são aquelas realizadas pelos clientes da organização, visando uma garantia da qualidade de serviços e produtos. E, por fim, a auditoria pode ser de *terceira parte*, quando é feita por organização externa independente, normalmente credenciada para fornecer certificações ou registros de conformidade como requisitos previstos pela ISO 9000 (2000).

As auditorias podem ter enfoques variados, como o financeiro, o gerencial, contábil e o ambiental. Este último, amplamente utilizado pelas empresas associadas ao saneamento, aos recursos hídricos e à construção civil.

3.2.3.2. Indicadores de desempenho

Na esfera organizacional, pode-se conceituar o Indicador de Desempenho como uma medida quantitativa do desempenho ou nível de serviço de uma organização, segundo a qual é possível obter informações, de forma simplificada, referentes à eficiência e eficácia da organização sob um determinado aspecto de interesse (IWA, 2000 *apud* Brostel, 2002).

Atualmente os indicadores de desempenho são componentes essenciais em processos de tomada de decisão, pois permitem agregar informações relevantes pelos decisores e demais agentes envolvidos (Castro *et al.*, 2004). Moldan e Bilharz (1997, *apud* Castro *et al.*, 2004) afirmam que os indicadores que se espera, são aqueles que resumem ou simplificam

informações, quantificando, medindo ou comunicando dados, facilitando a compreensão de um determinado fenômeno. Uma das dificuldades frequentes no uso de indicadores é a integração de variáveis, uma vez que normalmente as mesmas envolvem grandezas de naturezas distintas. A Figura 3.6 apresenta algumas das funções que podem ser desempenhadas pelos indicadores de acordo com Tunstall (1992, *apud* Castro *et al.*, 2004).

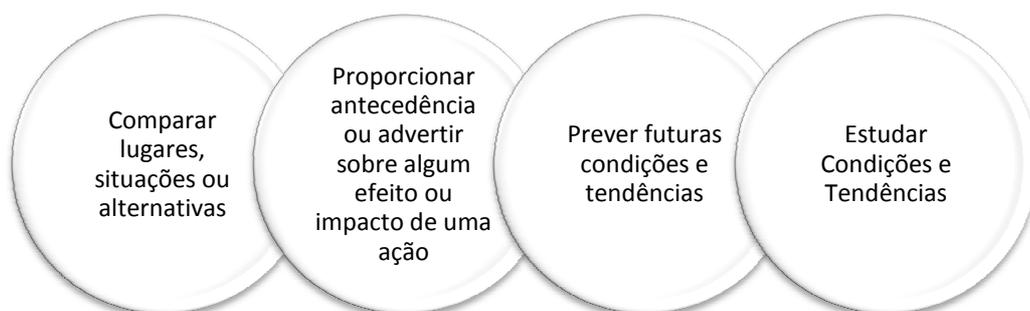


Figura 3.6. Funções dos Indicadores de desempenho (Tunstall, 1992, *apud* Castro *et al.* 2004)

Os valores dos indicadores podem ser observados, calculados ou medidos diretamente na fonte. Entretanto, derivam geralmente de dados primários processados e analisados, produzindo valores agregados que funcionarão como indicadores. Os indicadores podem ser variáveis simples ou funções de várias variáveis. Podem ser funções simples como uma razão, proporção ou índice, dependendo de duas ou mais variáveis, ou funções complexas como o resultado de simulações por meio de modelos (Castro, 2007).

Aos gestores, os indicadores de desempenho permitem a internalização das necessidades e expectativas dos clientes, respostas rápidas, identificação dos pontos fortes e fracos nas organizações e o monitoramento dos efeitos de suas decisões, além do auxílio em outras técnicas de gestão, como o *benchmarking* e a Gestão de Qualidade Total. Para os administradores, os indicadores de desempenho oferecem uma base comum para comparação entre entidades, permitindo a formulação de políticas específicas. Para órgãos reguladores, os indicadores de desempenho servem como instrumento de monitoramento, e aos órgãos financiadores, servem de suporte na avaliação das prioridades de investimentos, na seleção e no acompanhamento de projetos (IWA, 2000 *apud* Brostel, 2002).

3.2.3.3. Benchmarking

Formalmente, o *benchmarking* pode ser definido como um processo de caráter contínuo que propõe a medição de práticas, produtos e serviços, em relação aos concorrentes mais expressivos no mercado ou às empresas reconhecidas por suas lideranças em campos particulares de atuação (Araújo, 2008). A Figura 3.7 resume o *Benchmarking*.

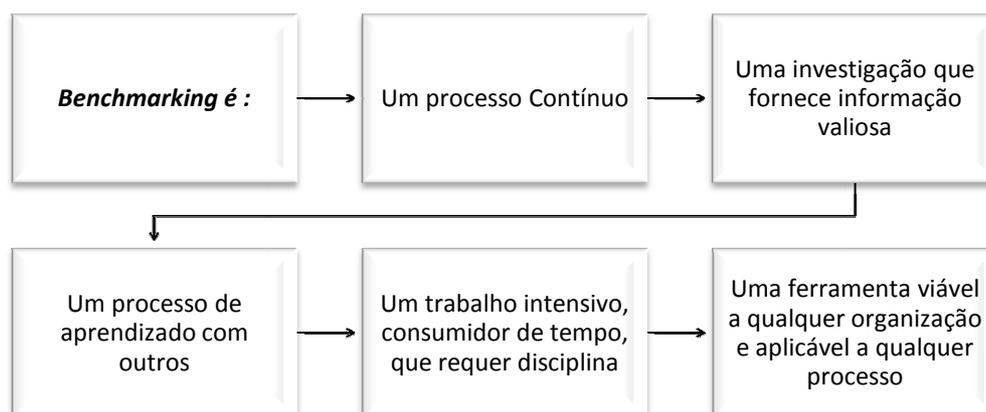


Figura 3.7. O que é *Benchmarking*? (Adaptado de Araújo, 2008)

De modo geral, o *benchmarking* pode ser resumido como aprender com os outros o que eles fazem de melhor e por que fazem tão bem e, depois, tentar fazer melhor. É uma fonte de informações que ajuda no estabelecimento de metas e objetivos que conduzem a patamares superiores de qualidade. Não se trata de uma prática de espionagem, mas sim de uma prática de parcerias esclarecidas para o desenvolvimento salutar do mercado. Dessa maneira, pode-se utilizar o *benchmarking* como forma de diagnosticar as necessidades de melhoria nos diferentes produtos e serviços ofertados por uma organização.

O *benchmarking* pode ser aplicado de diversas formas e situações, quando realizado entre diferentes setores, ou departamentos de uma mesma empresa e chamado de *Benchmarking Interno*, sendo de fácil aplicação devido à disponibilidade indiscriminada de dados e informações e pode servir como aprendizado para aplicação em outras esferas. O *Benchmarking Competitivo* é o mais usual e previsível, no qual são comparados desempenhos e atividades entre empresas do mesmo ramo de atividade, ou seja, na comparação com concorrentes diretos de mercado. Alguns aspectos importantes devem ser notados, como o tamanho da empresa, o porte organizacional, a estrutura funcional entre outros, para que não aconteça uma comparação inadequada. Existe também o

Benchmarking Funcional, no qual as atividades e funções de excelência são identificadas e comparadas com outras empresas e importadas, independentemente da área de atuação. Algumas empresas são utilizadas como referência pela sua capacidade logística, pelo cumprimento de prazos e pelo atendimento ao cliente. E, por fim, o *Benchmarking Genérico*, que se aplica a quaisquer situações, independentemente do que seja, no qual se busca simplesmente o melhor. Seja como atividade, serviço, conduta, informação e etc. (Araújo, 2008).

A utilização do *benchmarking* justifica-se entre outros fatores, pela sua importância como ferramenta de gestão direcionada ao aperfeiçoamento do desempenho, à possibilidade de se alcançar a liderança no mercado, ao auxílio na minimização de erros e despesas, na solução de problemas específicos, na identificação de oportunidades e no estabelecimento de objetivos e metas efetivos (Araújo, 2008).

3.2.3.4. Gestão pela Qualidade Total

Segundo Araújo (2008), por muitos anos perdurou a crença gerencial de que tudo admitia uma percentagem de erro no campo organizacional, crença decorrente talvez da tolerância por processos inadequados vinculados à própria natureza humana imperfeita. Em contraposição a essa passividade empresarial, desenvolveu-se após a Segunda Guerra Mundial, principalmente no Japão, uma idéia de minimização de erros, e uma busca permanente pela perfeição, que ficou conhecida como Gestão pela Qualidade Total. Tal mudança alavancou a economia japonesa a patamares nunca antes vislumbrados, e em alguns momentos, criando situações delicadas no mercado norte-americano de automóveis, por exemplo.

Visando assegurar um padrão de qualidade a produtos e serviços, por meio da padronização de procedimentos e rotinas operacionais foram criadas as normas da série *International Organization for Standardization* (ISO 9000). Essas normas regem os modelos de GQT, pautando-se no conceito de melhoria contínua de processo, produtos e serviços (Brostel, 2002).

O procedimento mais famoso e usado em gestão pela qualidade total é o ciclo de Deming/Shewhart, também conhecido como ciclo PDCA (Figura 3.8). Representa um

processo cíclico direcionado à melhoria, em que a primeira etapa consiste em planejar (*Plan*), seguida pela etapa de ação ou execução do planejado (*Do*), pela etapa de verificação de resultados até então obtidos com ações planejadas e executadas (*Check*) e pela etapa de implementação final do idealizado como mudança, após as considerações acerca de eventuais acertos (*Act*).

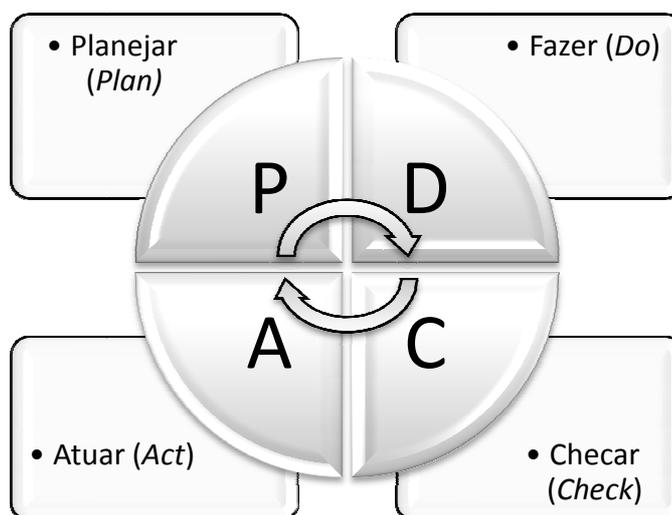


Figura 3.8. Ciclo PDCA (Araújo, 2008).

Atualmente, os modelos de GQT fundamentam-se nos seguintes princípios: satisfação total do cliente; desenvolvimento humano; constância de propósitos; gerência participativa; melhoria contínua; descentralização das decisões; disseminação das informações; garantia da qualidade e busca da perfeição. A GQT é incentivada em praticamente todos os tipos de instituições. No Brasil, foi instituído em 1995 o *Programa da Qualidade nos Serviços Públicos* (PQSP), com o propósito de melhorar a qualidade dos serviços prestados e apoiar as organizações públicas no processo de transformação gerencial. As empresas privadas por sua vez, têm-se interessado na GQT devido às necessidades de se manterem competitivas no mercado (Galvão, 2001).

Com base nesses conceitos, pode-se afirmar que a gestão e o manejo das águas pluviais urbanas devem ser aplicados visando a excelência. As técnicas de *benchmarking*, por exemplo, devem ser copiadas de agências, superintendências e companhia de serviços de água e esgoto, com mais tempo de atuação na maioria dos municípios brasileiros. O planejamento da drenagem urbana deve estar amparado pelos conceitos competitivos que mobilizam as instituições privadas, mesmo que no âmbito governamental.

3.2.4. Avaliação de Projetos

Avaliar é oferecer ferramentas e informações que permitam uma tomada de decisão. Diversas são as formas de se avaliar projetos, no contexto da pesquisa, pode identificar como projeto toda proposição de sistemas de drenagem urbana a serem implantadas, algumas mais simples outras mais complexas. Algumas dessas formas são apresentadas a seguir.

3.2.4.1. Análise de Critério Único

Segundo Harada e Cordeiro Netto (1999), as análises de critério único baseiam-se na agregação de diferentes efeitos analisados e a consideração de ganhos em um único critério. Trabalha-se com a tentativa de maximização de uma função $f(x)$ que simbolize o critério agregado escolhido para a análise. A regra de determinação do valor a ser alcançado para $f(x)$ é chamada de *regra de decisão*. Nos modelos tradicionais de auxílio à decisão, segundo a abordagem por meio de critério único, uma relação de $f(x) > f(w)$ indica que x é preferível em relação à w . Nesse tipo de análise, aceita-se também o princípio da *transitividade*, isto é, se $f(x) > f(w)$ e $f(w) > f(z)$ então $f(x) > f(z)$, logo x é preferível a z . Normalmente não se admite a incomparabilidade entre os projetos analisados. Harada e Cordeiro Netto (1999) apresentaram alguns dos tipos mais utilizados de análise de alternativas baseadas nessa estrutura de preferência, sendo elas:

1) Análise Custo-Efetividade - essa análise baseia-se na seleção de alternativas que sejam capazes de reduzir os custos necessários para atender aos objetivos definidos. Considera-se que os benefícios proporcionados por cada uma das alternativas são semelhantes, e passíveis de serem expressos de forma equivalente, fazendo com que não seja necessária uma comparação no processo de avaliação. A análise é essencialmente financeira e permite uma alocação eficiente de recursos, mas não permite que se julgue sobre a natureza da decisão. É traçada uma meta, identificam-se as alternativas capazes de atingi-la e, seleciona-se a alternativa com menor custo. Esse tipo de análise destina-se principalmente a empreendimentos governamentais, sendo limitada para aplicação em empreendimentos privados por desconsiderar os lucros e os benefícios, reduzindo as opções de análise de maior lucratividade entre possíveis decisores. Em suma, essa análise destaca-se pela simplicidade de aplicação, em função de não ser necessário conhecer ou quantificar

benefícios, deprecia-se pela desconsideração de custos sociais resultantes de efeitos diretos e indiretos, e pela impossibilidade de se julgar a pertinência global da decisão.

2) **Análise Custo-Benefício** - consiste em uma análise mais ampla e complexa que a análise custo-efetividade. Seu objetivo geral é comparar vantagens e desvantagens de diferentes opções possíveis. Para permitir a comparação, as alternativas são consideradas sob as perspectivas econômicas e financeiras, com efeitos expressos em unidades monetárias. Resumidamente, podem-se considerar como vantagens desse método o fato de exprimir resultados mensuráveis e compreensíveis para os participantes envolvidos na avaliação, a produção de valores e custos das alternativas e a possibilidade de comparação entre diferentes tipos de ações. Por outro lado, destacam-se como desvantagens a desconsideração por parte da análise da repartição dos benefícios e dos custos na sociedade, a exigência de um grande número de informações e a negligência de consequências cujos efeitos não podem ser quantificados.

3) **Análise Risco-Benefício** - considera a aceitação de riscos como um problema de decisão. O ponto mais importante dessa análise é a determinação do que seja um risco aceitável, e as medidas aceitáveis de remediação de consequências desse risco, comparadas posteriormente aos benefícios propostos. Como vantagem da análise, pode-se destacar a estrutura de maior flexibilidade, que permite a consideração de todos os benefícios e custos, bem como a observância de um ponto de vista da sociedade, na aceitação do risco. Como desvantagem, a análise considera estimativas de difícil mensuração, atribuindo em alguns casos grande subjetividade.

3.3. MÉTODOS DE AUXÍLIO À DECISÃO

3.3.1. Introdução aos métodos de auxílio à decisão

O processo decisório é um processo que envolve três estágios: inteligência, elaboração e escolha. A inteligência refere-se à procura de situações que precisem de decisão. Dados brutos são obtidos, processados e examinados em busca de pistas que permitam identificar o problema. A elaboração consiste na organização, desenvolvimento e análise dos possíveis rumos de ação. Isto envolve processos para se compreender o problema, gerar

soluções e realizar testes quanto à sua aplicabilidade. E a escolha, é a seleção do rumo de ação específico dentre as possibilidades (Simon, 1960, *apud* Braga *et al.*, 1998).

Problemas que envolvem múltiplos critérios e objetivos têm sido resolvidos ao longo do tempo com o auxílio de abstrações, raciocínios dedutivos e heurísticos. A solução de um problema envolve rotineiramente um conjunto de pessoas e interesses, cada um com seu ponto de vista, diversificando o universo de soluções. Comumente são tratados problemas nos quais os critérios de resolução são conflitantes. Tanto critérios quanto objetivos podem não estar claramente definidos e especificados, dificultando a abordagem da situação. Os critérios são quantificáveis, sendo alguns deles por meio de juízos de valor efetuados sobre uma escala, que por sua vez, pode ser cardinal, verbal ou ordinal, dependendo dos dados disponíveis e da própria natureza dos critérios (Gomes *et al.*, 2004). A solução adequada desses problemas exige uma estreita interação entre homem e máquina, que tem sido obtida por meio de sistemas computacionais, batizados de Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) (Porto e Azevedo, 2002).

Os SSD são constituídos pelos seguintes componentes principais: a base de dados, a base de modelos e a interface de diálogo. A base de dados é responsável pelo conhecimento e disponibilização de todas as informações necessárias. A base de modelos possui a capacidade de selecionar e processar dados, formular e analisar alternativas que visem alcançar soluções satisfatórias para o problema. A interface do diálogo é a componente responsável pelo recebimento de informações e instruções, e transmissão das respostas apropriadas ao usuário. A incorporação de informações típicas, conhecimentos empíricos, normas, regulamentos é feita por meio de uma base de conhecimentos, que possui mecanismos para inferência dessas informações ao sistema (Porto e Azevedo, 2002).

Dentre as técnicas e métodos que se têm destacado como apoio ao sistema de suporte à decisão, especificamente na área de recursos hídricos e saneamento, destaca-se: os conjuntos difusos, as redes neurais e os sistemas especialistas, além da análise multiobjetivo e multicritério.

3.3.2. Teoria dos Conjuntos Difusos (*fuzzy sets*)

A Teoria dos Conjuntos Difusos (TCD) ou nebulosos foi desenvolvida em 1965, por Lofti Zadeh, visando o tratamento matemático das situações de incerteza e imprecisão, que, tradicionalmente, eram analisadas pela Teoria das Probabilidades, de forma não-determinística. Ela fundamenta-se na teoria geral dos conjuntos, no qual se introduz o conceito de grau de pertinência das variáveis. Os conjuntos difusos operam por meio de um Sistema Difuso de Regras (SDR), que objetivam conhecer e modelar um determinado processo passível de ser caracterizado por meio de informações aproximadas ou heurísticas, ou ainda, quando a caracterização do processo só pode ser feita por meio de modelo matemático complexo, ou se deseje um modelo mais robusto (Galvão *et al.*, 1999).

Uma das vantagens do método é possibilitar a incorporação de valores subjetivos, bom-senso e a opinião dos envolvidos, por meio das funções de pertinência, além da simplicidade e robustez do método. Por outro lado, quando não se dispõe de experiência no processo, a definição das funções de pertinência e regras do sistema difuso torna-se difícil, caracterizando uma desvantagem do sistema. O uso dos conjuntos difusos tem-se destacado na área de apoio à decisão nos sistemas de controle. Especificamente, nas áreas de recursos hídricos e meio ambiente, os conjuntos difusos têm sido utilizados para quantificação de impacto ambiental, análise de risco e determinação de benefícios econômicos (Brostel, 2002).

3.3.3. Redes neurais

O conceito de redes neurais (*Neural Networks - NN*) ou redes neurais artificiais (*Artificial Neural Networks - ANN*) baseia-se no funcionamento das células neurais do cérebro humano, considerando os seguintes aspectos: a aquisição do conhecimento é feita através do aprendizado com dados históricos; são adotados pesos sinápticos, que semelhantemente à intensidade de força de conexão entre os neurônios humanos, são utilizados para armazenar conhecimentos (Hanisch *et al.*, 1999).

A principal característica das redes neurais, aprender a partir de dados passados, caracteriza a aplicabilidade desse sistema, principalmente, para a modelagem dinâmica e

de estado fixo, a diagnose de falhas, o monitoramento de processos e a obtenção de regras e de padrões (Borger, 1992; Hamoda *et al.*, 1999).

As redes neurais possuem muitas vantagens em relação a outras técnicas, devido à possibilidade de aprender com dados históricos além de dispensar especialistas humanos, conhecimentos específicos e o desenvolvimento de modelos. Contudo, trazem como desvantagem, o excesso de cuidados necessários para evitar que as redes neurais conduzam a uma extrapolação dos conhecimentos básicos, caso o processo atinja um estado desconhecido do sistema (Borger, 1992).

3.3.4. Sistemas Especialistas

Os sistemas especialistas (ou *Expert Systems*) podem ser definidos como programas computacionais inteligentes, que têm a mesma função e desempenho de um especialista humano na resolução de um determinado problema. Vinculado a sistemas de apoio à decisão, os próprios sistemas especialistas são responsáveis por consultar o banco de dados, interagirem com as informações contidas nele e sugerirem as soluções mais adequadas para a tomada de decisão (Braga *et al.*, 1998). Particularmente, na área de tratamento de esgotos, esses métodos têm sido utilizados para controle e otimização de processos e seleção de processos de tratamento de águas residuárias industriais (Brostel, 2002).

3.3.5. Análise Multiobjetivo e Multicritério

A análise multiobjetivo e multicritério é uma técnica de auxílio à decisão que permite tratar, simultaneamente, de situações que envolvem aspectos de natureza diferenciada, como os econômicos, sociais, políticos e ambientais. Em uma decisão, frequentemente, se busca alcançar mais de um objetivo, mesmo quando se trata de situações comuns do dia a dia (Braga e Gobetti, 2002).

Na análise multiobjetivo e multicritério deve haver o tratamento simultâneo de diferentes aspectos, que além do caráter científico, traga a capacidade de agregar de maneira ampla, todas as características consideradas importantes no processo, inclusive as não-quantitativas. A análise, então, não se limita à busca de um maior ou menor valor, ou à

maximização ou minimização de uma função, mas sim considerar um grupo de funções ou atributos. A análise multicritério pretende apoiar o processo de tomada de decisão ao recomendar ações ou cursos de ação a quem vai tomar a decisão, em uma situação caracterizada pela existência de diferentes funções objetivo simultâneas (Gomes *et al.*, 2004 e Harada e Cordeiro Netto, 1999).

Com grande suporte em modelagem matemática, a aplicação da abordagem multiobjetivo e multicritério justifica-se por:

- 1) organizar as informações e o papel de cada participante nas etapas decisórias;
- 2) evidenciar os conflitos entre objetivos e quantificar o grau de compromisso existente entre eles;
- 3) possibilitar o tratamento de cada objetivo na unidade de mensuração mais adequada, sem a distorção introduzida pela simples conversão em unidades monetárias como feito na Análise Benefício-Custo (Braga *et al.*, 1998).

Dentre as vantagens inferidas aos métodos multiobjetivo e multicritério no auxílio à tomada de decisões está a capacidade dos mesmos em refletir melhor os objetivos, analisar com detalhe as particularidades introduzidas nas alternativas comparadas, quantificar os custos implícitos, não traduzíveis pelas análises custo-benefício e estabelecer uma lista de prioridades do projeto. Dentre as desvantagens estão a necessidade de um grande número de informações para cada alternativa avaliada, a dependência do resultado em relação aos critérios avaliados e em relação à sua aplicabilidade à problemática em questão, que torna a análise subjetiva (Harada e Cordeiro Netto, 1999).

O uso de métodos multicritério e multiobjetivo como ferramenta de apoio à decisão em problemas ambientais tem crescido significativamente nas últimas décadas. Tais métodos têm sido aplicados em processos decisórios relacionados a planejamento e gestão de recursos hídricos, metodologias de seleção de alternativas para tratamento de esgotos, gestão e disposição de resíduos sólidos, planejamento e uso do solo, gestão de recursos naturais, auditorias ambientais, seleção de investimento em transporte, investimento em energia e avaliação de impacto ambiental (Brostel, 2002).

4. METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa aplicada foi estruturada a partir das seguintes premissas:

- 1) o procedimento de avaliação a ser formulado deveria possibilitar a avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana, considerando os mecanismos mais frequentes de intervenção utilizados no Brasil, fossem eles clássicos ou compensatórios;
- 2) o procedimento de avaliação proposto deveria seguir as recomendações das atuais técnicas de avaliação de desempenho e estar fundamentado na aplicação de algum método de auxílio à decisão; e
- 3) o procedimento de avaliação deveria avaliar o desempenho dos sistemas de drenagem urbana nos aspectos considerados mais importantes pelas pessoas e entidades que se relacionam com esses sistemas, além de possibilitar a identificação dos pontos críticos dos mesmos, permitindo realizar um diagnóstico de estado do sistema avaliado.

4.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA (1ª ETAPA)

Como primeira etapa da metodologia de pesquisa, realizou-se a pesquisa bibliográfica, apresentada no capítulo de fundamentação teórica, que contempla três linhas gerais distintas nas quais se apoiou o trabalho: a gestão e o manejo das águas pluviais urbanas, os métodos de avaliação de desempenho e os métodos de auxílio à decisão.

No que se refere à gestão e manejo das águas pluviais urbanas, são apresentados conceitos que dizem respeito às inundações urbanas, os impactos da urbanização e as principais características das medidas de controle clássicas e compensatórias. Além disso, são discutidos tópicos relacionados à inserção da drenagem no ambiente urbano, em consonância com os sistemas sanitários de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto, além dos resíduos sólidos urbanos.

Com relação à avaliação de desempenho, são apresentados alguns métodos e técnicas utilizados para a mensuração e melhoria de desempenho. São descritas técnicas atuais de avaliação como as auditorias, *Benchmarking*, o uso de indicadores de desempenho entre

outros. Também são descritos alguns procedimentos de análise frequentemente utilizados na avaliação de projetos.

Quanto aos métodos de auxílio à decisão, faz-se uma breve apresentação dos mais utilizados. Descreve-se as teorias: dos conjuntos difusos, da utilização das redes neurais, dos sistemas especialistas e da análise multiobjetivo e multicritério, dos relatos dos principais pontos positivos e negativos dos diferentes métodos.

4.2. ESCOLHA DO MÉTODO DE AUXÍLIO À DECISÃO (2ª ETAPA)

Em função da fundamentação teórica apresentada no Terceiro Capítulo, e na revisão bibliográfica constante no Sexto Capítulo, fez-se a escolha pelos métodos multiobjetivo e multicritério de auxílio à decisão.

Os métodos multiobjetivo e multicritério podem ser considerados pertinentes para utilização como ferramenta de apoio para identificar um nível de desempenho global para alternativas de sistemas de drenagem, considerando a capacidade dos mesmos de fundamentar as decisões em múltiplos critérios, além de possibilitarem o uso de critérios qualitativos e quantitativos, a participação de múltiplos decisores.

Os métodos multicritério e multiobjetivo possuem aplicações semelhantes, em áreas específicas associadas aos recursos hídricos e ao saneamento básico. Como exemplos de pesquisas nacionais que se enquadram nesse tipo de aplicação destacam-se: Generino, 1999; Braga e Gobetti, 2002; Brostel, 2002; Castro, 2004; Moura, 2004; Brito, 2006 e Milograna, 2009.

Os outros métodos de auxílio à decisão apresentados no Terceiro Capítulo, também poderiam ser utilizados para o desenvolvimento do procedimento de avaliação.

A Figura 4.1 apresenta as duas primeiras etapas da metodologia da pesquisa, que se referem à pesquisa bibliográfica e à seleção do método de auxílio à decisão.

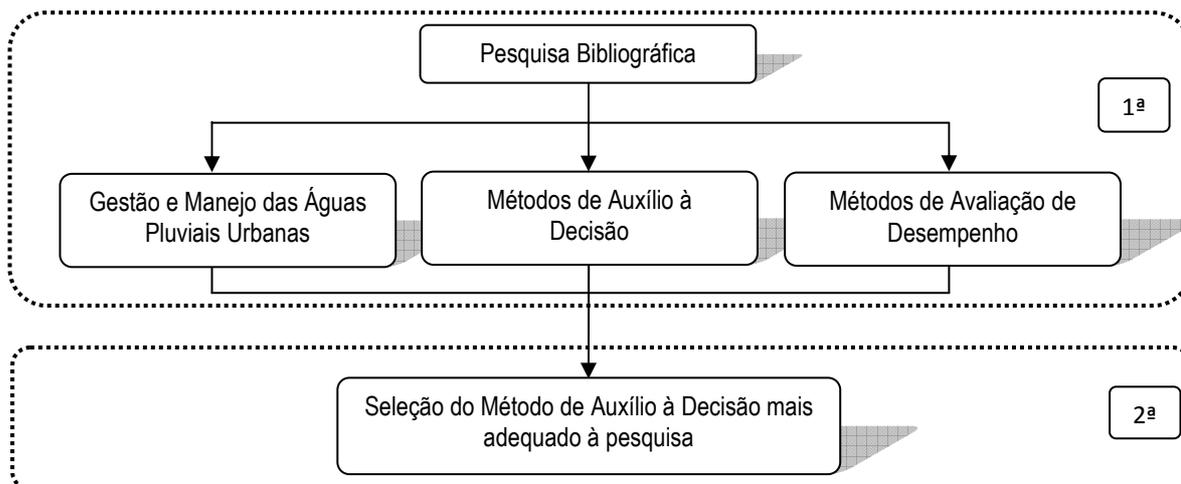


Figura 4.1. Etapas 1 e 2 da metodologia de pesquisa

Após a definição do método de auxílio à decisão a ser utilizado, foi possível dar continuidade a metodologia que foi desenvolvida em outras cinco etapas.

4.3. DEFINIÇÃO DO(S) MÉTODO(S) MULTICRITÉRIO E MULTIOBJETIVO PARA APLICAÇÃO À PESQUISA (3ª ETAPA)

Nessa etapa, foi feita uma nova pesquisa bibliográfica com o intuito de identificar e selecionar os métodos multicritério e multiobjetivo que melhor se adequariam ao propósito de avaliar os desempenhos dos sistemas de drenagem urbana.

Os métodos de apoio à decisão estão relacionados a quatro problemáticas decisórias de referência (α , β , γ , e δ), que são utilizadas para situar o problema de tomada de decisão (Roy, 1985 *apud* Castro, 2007; Maystre *et al.*, 1994 *apud* Castro, 2007; Gomes *et al.*, 2004).

A problemática α (alfa) consiste “em colocar o problema em termos de ‘melhor escolha’ ” (Roy, 1985 *apud* Castro, 2007). Escolhem-se as alternativas que são preferidas para a maioria dos critérios, considerando-se, ainda, o fato de não causarem um nível de descontentamento inaceitável para os demais critérios (Gomes *et al.*, 2004).

Na problemática β (beta), é estabelecido o processo de alocação, ou seja, há o enquadramento de ações em categorias previamente definidas, a partir do valor intrínseco

de cada ação em particular. Nessa problemática não há comparação das ações em estudo entre si (Roy, 1985 *apud* Castro, 2007; Yu e Roy, 1992 e Gomes *et al.*, 2004).

A problemática γ (gama) discrimina as ações que são ‘suficientemente satisfatórias’, “*em função de um modelo de preferências*”. Essa problemática reagrupa as ações equivalentes, através de um procedimento de classificação do todo ou de uma parte de um conjunto de ações (Roy, 1985 *apud* Castro, 2007 e Gomes *et al.*, 2004).

A problemática δ (delta) realiza uma descrição das alternativas (Gomes *et al.*, 2004).

Essas problemáticas não são independentes entre si, como se percebe ao utilizar a ordenação de alternativas, problemática gama, que pode servir de base para resolver problemas de seleção da melhor alternativa, que caracteriza a problemática alfa (Gomes *et al.*, 2004). Assim, é possível afirmar que a problemática mais adequada ao problema proposto é a problemática beta (β), que possibilita enquadrar os sistemas de drenagem em diferentes níveis de desempenho. A Figura 4.2 ilustra o processo decisório para as problemáticas α , β e γ .

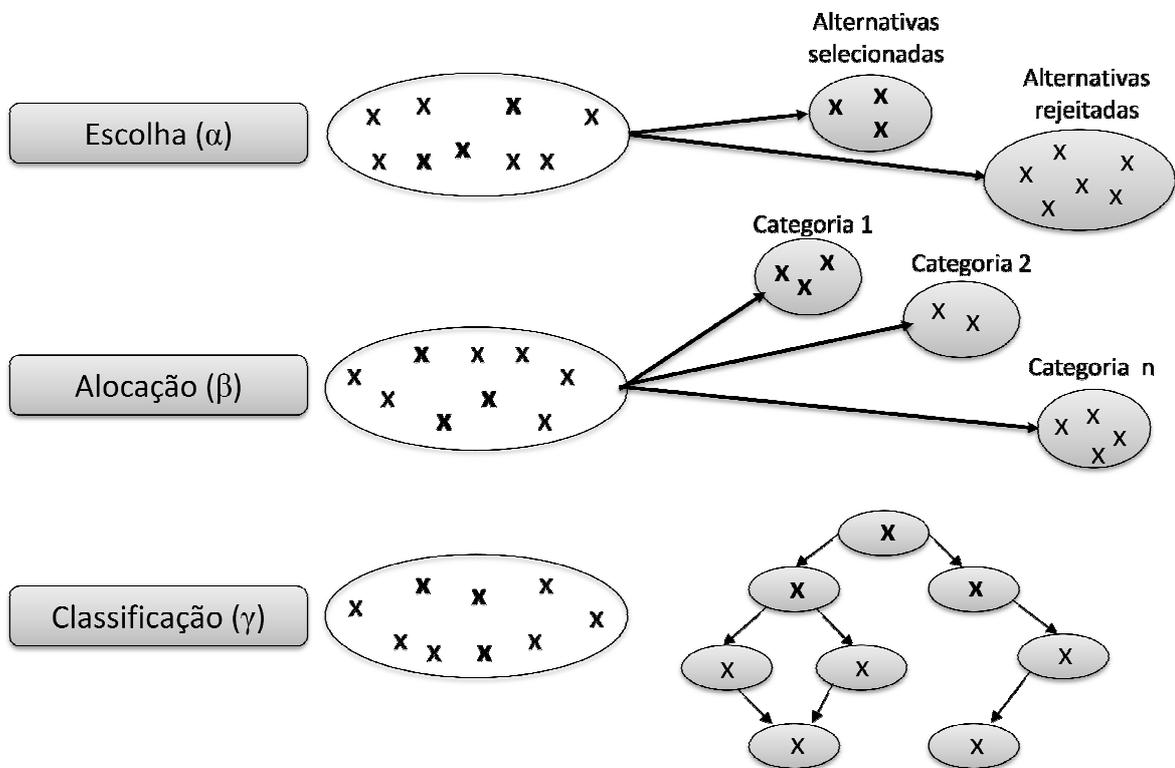


Figura 4.2. Problemáticas decisórias α , β e γ .

4.4. LEVANTAMENTO PRELIMINAR DOS OBJETIVOS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA (4ª ETAPA)

Os objetivos utilizados para avaliação dos sistemas de drenagem urbana esperados pelos atores envolvidos com a drenagem urbana, foram levantados a partir da constatação dos objetivos utilizados em outras pesquisas (Pompêo, 2000; Milograna, 2001; Castro, 2002; Moura, 2004; Artina *et al.*, 2005; Baptista *et al.*, 2005b; Ellis *et al.*, 2006; Moura *et al.*, 2006; Martin *et al.*, 2007) e associados a critérios específicos que pudessem avaliar o atendimento desses objetivos. Esse levantamento preliminar de objetivos e critérios fundamentou a etapa seguinte da pesquisa, caracterizada pela consulta a especialistas. Ao todo foram identificados seis objetivos e dezessete critérios para avaliação do atendimento desses objetivos. Em algumas pesquisas, há a recomendação de que se faça uma análise detalhada para que não sejam utilizados critérios com escopo e avaliação de aspectos semelhantes, esse procedimento foi utilizado após a avaliação dos especialistas.

4.5. CONSULTA A ESPECIALISTAS E ENQUADRAMENTO DOS CRITÉRIOS SEGUNDO OS OBJETIVOS ESPECÍFICOS SOB DIMENSÕES DE AVALIAÇÃO (5ª ETAPA)

Esta etapa foi realizada com a aplicação de um formulário de pesquisa para consulta de especialistas da área de drenagem urbana. No formulário aplicado havia a descrição da pesquisa e foram apresentados os objetivos e critérios, que eventualmente, fariam parte da avaliação dos sistemas de drenagem urbana. Esses objetivos e critérios foram submetidos à aceitação dos especialistas, que os avaliaram segundo uma escala de importância que variava de 0 (zero) a 4 (quatro).

Alguns comentários e recomendações deles possibilitaram agrupar, excluir e readaptar alguns dos critérios iniciais. Em seguida, os critérios foram agrupados em dimensões que permitissem exprimir diferentes pontos de vista acerca dos sistemas de drenagem urbana. Essas dimensões derivam dos seis objetivos apresentados aos especialistas, todos considerados pertinentes. As dimensões de avaliação são: *dimensão legal, dimensão econômica, dimensão social, dimensão ambiental, dimensão de práticas sustentáveis e dimensão técnica.*

4.6. DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA (6ª ETAPA)

Essa etapa teve início com a definição do escopo de avaliação dos critérios, em que cada um tem seu procedimento de avaliação descrito, seja de forma qualitativa ou quantitativa. Foram utilizadas duas formas de se avaliar os sistemas de drenagem urbana segundo os critérios selecionados, por meio de indicadores de desempenho, aplicados aos critérios essencialmente quantitativos e, por meio de planilhas pontuadas, aplicadas aos critérios qualitativos.

Em seguida, foram definidas as ações de referência fictícias para o estabelecimento das categorias de desempenho. As categorias em que os desempenhos dos sistemas de drenagem urbana poderiam estar alocados foram *muito ruim, ruim, regular, bom, muito bom e ótimo*. Essas ações de referência que delinearam as categorias de desempenho foram definidas por meio de pesquisa bibliográfica e discussões com especialistas. Por fim, foram descritas as etapas de aplicação do procedimento para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana.

4.7. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO, ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO (7ª ETAPA)

Nessa última etapa, fez-se a aplicação do procedimento de avaliação a um Estudo de Caso. Os resultados foram comparados com resultados obtidos por pesquisas anteriormente aplicadas ao mesmo Estudo de Caso. Com base no nível de concordância existente entre as pesquisas e nas observações feitas durante as avaliações e na análise dos resultados obtidos, foram elaboradas as conclusões e recomendações.

A Figura 4.3 apresenta as etapas da metodologia desenvolvida após a seleção dos métodos multicritério e multiobjetivo como suporte da pesquisa. Para evidenciar o caráter sequencial da metodologia, a primeira etapa dessa segunda parte do trabalho foi chamada de terceira, e assim por diante.

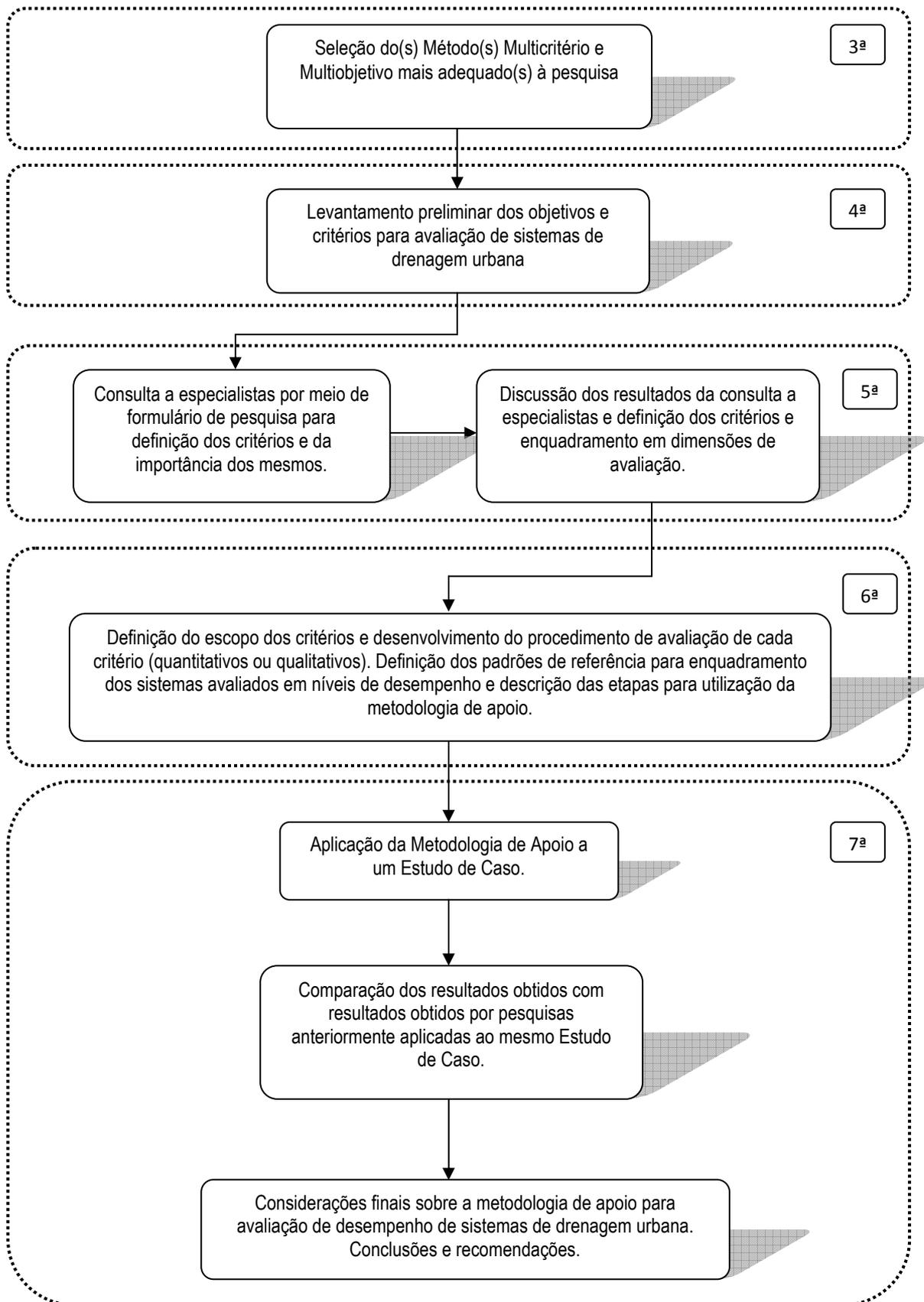


Figura 4.3. Etapas complementares da metodologia de pesquisa

5. MÉTODOS MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO

Este capítulo apresenta os principais métodos multicritério e multiobjetivo para que possa ser feita a seleção do(s) método(s) mais adequado(s) à proposta da pesquisa.

5.1. APRESENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO

A estruturação de um problema multiobjetivo e multicritério consiste em se definir, inicialmente, o objetivo geral ou meta que se deseja atingir com o empreendimento. Em seguida, determinam-se os objetivos específicos que irão permitir o alcance da referida meta. Os objetivos almejados são traduzidos em funções ou atributos, que são medidos e quantificados, em conformidade com os valores de julgamento do decisor ou dos decisores. Tais atributos podem ser de natureza objetiva ou subjetiva (Braga e Gobetti, 2002 e Goicoechea *et al.*, 1982).

Uma metodologia de apoio multiobjetivo e multicritério à decisão espera que o processo seja o mais neutro, objetivo, válido e transparente possível, sem que haja a indicação ao decisor de uma única e verdadeira solução. Segundo Gomes *et al.* (2004), esse tipo de metodologia considera quatro níveis, não necessariamente sequenciais, como se segue:

- 1) Nível I – *Objeto da Decisão e Espírito da Recomendação*: consiste em reconhecer as necessidades, detectando o problema a ser definido;
- 2) Nível II – *Análise das Consequências e Elaboração dos Critérios*: consiste em formular e definir o problema, mediante a identificação dos eventuais grupos de interesse, bem como dos objetivos e atributos utilizados no processo de decisão;
- 3) Nível III – *Modelagem das Preferências Globais e Abordagem Operacional*: consiste em elaborar um modelo analítico do problema, com a finalidade de construir uma representação, quase sempre matemática, a ser utilizada ao longo da análise do processo, estimando a influência de cada parâmetro no problema estudado;
- 4) Nível IV – *Análise dos Resultados*: consiste na análise propriamente dita. Verificam-se as alternativas em relação aos critérios, de acordo com o estado da natureza presente no processo. Frequentemente é necessária a reavaliação do processo, retornando a níveis anteriores.

Segundo Harada e Cordeiro Netto (1999), os métodos multicriteriais não se enquadram facilmente em alguma classificação de aceitação geral. Duas classificações são consideradas mais simples e de aceitação difundida: a primeira proposta por Vincke *et al.* (1989) adotada pela *Service de Mathématiques de la Gestion* (Paris, França) que separa os métodos baseados na teoria *utilidade-multiatributo*, *métodos seletivos* e *métodos interativos* e; a segunda, proposta por Goicoechea *et al.* (1982), de forma equivalente, porém com um detalhamento maior na nomenclatura: *técnicas de geração de soluções não-dominadas*, *técnicas com articulação de preferências* e *técnicas com articulação progressiva de preferências*. A Tabela 5.1 apresentam o enquadramento dos métodos pela classificação de Goicoechea *et al.* (1982).

Tabela 5.1. Enquadramento dos Métodos Multicritério segundo a classificação de Goicoechea *et al.* (1982)

GRUPO	DESCRIÇÃO	PRINCIPAIS MÉTODOS
Técnicas de geração das soluções não-dominadas	<i>As alternativas são geradas pelo analista sem incluir as preferências do decisor</i>	- Método das Ponderações - Método das Restrições - Método Multiobjetivo Linear
Técnicas com articulação de preferências a priori	<i>O decisor manifesta antecipadamente seu juízo de valor sobre as trocas possíveis entre os objetivos e seus pesos relativos entre eles</i>	- Método da Função Utilidade Multidimensional - Método da Programação por Metas - Métodos ELECTRE - Método da Matriz de Prioridades
Métodos com articulação progressiva das preferências	<i>A interação analista-decisor ocorre ao longo de todo o processo decisório</i>	- Método da Programação de Compromisso - Método dos Passos

A seguir são apresentadas as três classes de métodos propostas por Vincke *et al.* (1989).

5.1.1. Métodos baseados na Teoria Utilidade-Multiatributo

Essa família de métodos baseia-se na agregação de diferentes atributos dentro de uma única função, sendo o objetivo básico a obtenção da alternativa que possa otimizar essa função. Sua teoria é baseada em um axioma fundamental: qualquer decisor procura, consciente ou inconscientemente, maximizar uma função de utilidade ou minimizar uma

função de custo. Dentre os diversos métodos dessa família, pode-se destacar o *Compromise Programming* (Programação de Compromisso), desenvolvido por Zeleny (1973).

5.1.1.1. Método da Ponderação

Este método não necessita da definição *a priori* das preferências do decisor, no qual os objetivos são dados por funções $f_1(x)$, $f_2(x)$... $f_p(x)$ e são ponderados por pesos w_k , formando um problema dado por:

$$Max \sum_{k=1}^p w_k f_k(x) \quad (5.1)$$

Sendo $w_k > 0$ o coeficiente de ponderação do objetivo k que varia parametricamente até que se tenha o conjunto de soluções não-inferiores (x^*). A melhor solução de compromisso terá um conjunto w_1, w_2, \dots, w_p que indicará a importância relativa de cada objetivo (Braga e Gobetti, 2002).

5.1.1.2. Método das restrições

Segundo Braga e Gobetti (2002), este método é semelhante ao das ponderações, pois também gera o conjunto de soluções não-inferiores (não-dominadas). O método consiste em se eleger um objetivo (r) para ser otimizado enquanto os demais objetivos ($p-r$) são utilizados como restrições através de:

$$Max f_r(x) \quad (5.2)$$

$$\text{Sujeito a } f_k(x) \geq I_k \text{ para todo } k \neq r \quad (5.3)$$

Sendo I_k um limite inferior do objetivo k . Variando-se parametricamente o limite inferior, traça-se o conjunto de soluções não-inferiores.

Essas duas técnicas, das ponderações e das restrições, exigem grande carga computacional, o que praticamente inviabiliza sua utilização em situações nas quais haja mais de quatro

objetivos. A partir desse número de objetivos, o analista não pode mais explicitar graficamente as trocas entre objetivos e a análise fica deficiente (Braga e Gobetti, 2002).

5.1.1.3. Método da análise hierárquica (*Analytic Hierarchy Process – AHP*)

O *AHP* é um dos representantes da família baseada na Teoria Multiatributo. O método seleciona, ordena e pode ser utilizado para avaliação subjetiva de várias alternativas em termos de um ou mais objetivos. Por meio de um problema de avaliação como uma hierarquia, esta técnica pode ser utilizada para resolver comparações em vários níveis e integrar essas soluções dentro de um resultado final. O método apresenta uma estrutura semelhante a uma função aditiva (Zuffo *et al.*, 2002). Segundo Benton (1986 *apud* Zuffo *et al.*, 2002), as maiores fraquezas do Método *AHP* são os questionamentos ambíguos sobre os critérios de pesos e a forte suposição da escala para a medida dos valores.

5.1.1.4. Método da Programação por Metas

O método define uma solução ideal, onde todas as metas previamente estabelecidas pelo agente decisor são atingidas para todos os objetivos, simultaneamente. As alternativas são classificadas em função da menor distância total obtida em relação à solução ideal (Goicoechea *et al.*, 1982).

5.1.2. Métodos Seletivos

Os métodos seletivos são mais difundidos na Europa, procuram estabelecer comparações entre alternativas, duas a duas, por meio do estabelecimento de uma relação que acompanhe as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores, sendo chamada de *relação de seleção*. Essa relação estabelecida indica se há argumentos para decidir se um dos elementos do par é tão bom quanto o outro. Dependendo do método, essas comparações podem ainda considerar pesos, representando a importância relativa entre os critérios. Os principais métodos dessa família são os Métodos da família *ELECTRE* (Roy, 1985 *apud* Castro, 2007) e *Promethee* (Vincke, 1982).

5.1.2.1. Métodos da Família *ELECTRE* (*Elimination et Choix Traduisant La Réalité*)

Os métodos dessa família fazem parte dos denominados Métodos de Superação, uma vez que possuem como conceito teórico central as relações de superação. Os métodos da família diferenciam entre si pela problemática que tentam resolver, pelas informações intra e intercritérios utilizadas e pela quantidade de relações de superação construídas e pesquisadas (Gomes *et al.*, 2004).

ELECTRE I e IS

Dividem o conjunto de alternativas em dois subconjuntos: alternativas não-dominadas e alternativas dominadas. O método *ELECTRE I* usa o conceito de critério verdadeiro, segundo o qual há uma concordância plena (em um critério genérico j) de que uma alternativa a é pelo menos tão boa quanto uma outra alternativa b , se o desempenho de b for inferior ao de a (mesmo que apenas infinitesimalmente inferior). O *ELECTRE IS* usa o conceito de pseudocritério, segundo o qual há uma concordância plena (em um critério genérico j) de que uma alternativa a é pelo menos tão boa quanto uma outra alternativa b , mesmo que o desempenho de a seja um pouco menor (dentro de um limite aceitável q) do que o de b . O pseudocritério considera a possibilidade de hesitação ou incerteza de um avaliador ao afirmar que uma alternativa é, de fato, pelo menos tão boa quanto uma outra (Gomes *et al.*, 2004; Costa *et al.*, 2007).

ELECTRE II, III e IV

Ordenam as alternativas presentes no conjunto de alternativas viáveis. O método *ELECTRE II* usa o conceito de critério verdadeiro para estabelecer as relações de subordinação, porém usa uma estrutura de relaxamento para obter a ordenação das alternativas. Nesta estrutura de relaxamento considera-se a construção de dois grafos: Grafo Forte e Grafo Fraco. Os métodos *ELECTRE III e IV* utilizam o conceito de pseudocritério para estabelecer uma relação de credibilidade, a partir do qual ordenam as alternativas por meio de um processo de “destilação”. O método *ELECTRE IV* é utilizado em problemas de ordenação quando não se pode (ou não se deseja) atribuir pesos aos critérios (Gomes *et al.*, 2004; Costa *et al.*, 2007).

ELECTRE TRI

O método *ELECTRE TRI* considera a problemática β na qual busca resolver problemas de classificação ordenada. Classifica as diversas alternativas por meio de uma comparação com uma referência estável (padrão/alternativa de referência). Este método usa o conceito de pseudocritério para estabelecer as relações de subordinação (Gomes *et al.*, 2004; Costa *et al.*, 2007).

5.1.2.2. Método da matriz de prioridade

Segundo Braga e Gobetti (2002), esse método consiste basicamente em hierarquizar L alternativas de acordo com N objetivos. Os objetivos são ordenados através de uma matriz onde os elementos da matriz indicam a importância relativa atribuída pelo decisor entre um objetivo i e outro j através de uma escala de preferência. Por meio do método, é possível a determinação da importância relativa de cada objetivo considerado na análise. A seleção final da alternativa preferida pode ser apoiada por um índice chamado de coeficiente de concordância, que mede o grau de atendimento da alternativa em relação ao conjunto dos N objetivos considerados.

5.1.3. Métodos Interativos

Esses métodos baseiam-se na alternância de etapas computacionais com etapas de debate, onde são obtidas novas informações sobre as preferências dos agentes decisores; tais métodos tornam-se aplicáveis para um universo maior de casos devido a sua flexibilidade. Parte-se do princípio segundo o qual o decisor não tem estabelecido *a priori* o seu sistema de preferência. Esse sistema se revela gradativamente à medida que o processo decisório se desenvolve.

5.1.3.1. Método da Programação de Compromisso (*Compromise Programming - CP*)

O método *CP* (Zeleny, 1973) busca identificar soluções não-dominantes que estão mais próximas a uma solução ideal, através de um procedimento de medida de distância (Harada e Cordeiro Netto, 1999). A solução ideal é definida como sendo:

$$f^* = (f_1^*, f_2^*, f_3^*, \dots, f_n^*) \quad (5.4)$$

Na qual f_n^* são definidos como os melhores valores no conjunto finito dos $f_I(x)$, isto é, a solução ideal será formada pelo vetor dos melhores valores alcançados em cada critério, na matriz de avaliação. Também é determinado um vetor com os piores valores, caracterizado como f_n^{**} , que é utilizado para indicar a distância relativa da alternativa à solução mais desfavorável.

5.1.3.2. Método *TOPSIS* (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)

O método é baseado no princípio segundo o qual a alternativa a ser escolhida deveria ter, no espaço euclidiano, a menor distância a partir de uma *solução positiva ideal* e a maior distância de uma *solução negativa ideal*. Pode-se ter uma decisão que não somente é a mais aceitável, mas também cujo grau de aceitabilidade pode ser “quantificado” (Vergara *et al.*, 2004).

5.2. SELEÇÃO DO MÉTODO MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO

Dentre os diferentes métodos apresentados para o problema proposto, a melhor alternativa seria a seleção de algum método que se enquadrasse na problemática do tipo β , apresentada no Quarto Capítulo, uma vez que se pretende fazer uma avaliação de desempenho, e tal problemática permite a avaliação segundo critérios definidos, sem que haja a necessidade de comparação com outras opções, basta que sejam estabelecidas as ações de referência. Assim, o primeiro método selecionado foi o *ELECTRE TRI*, por permitir esse tipo de análise e por ser objeto frequente de estudo na área de recursos hídricos e meio ambiente, como nos trabalhos de Brostel (2002) e Castro (2007). Além disso, os métodos da família *ELECTRE* são de aplicação relativamente simples e com boa aceitabilidade na comunidade científica.

Outro método selecionado foi o *TOPSIS*, que pode ser visto como uma evolução dos métodos de programação de compromisso, à medida que permite a avaliação de alternativas com relação não somente a uma solução *ideal* como à *anti-ideal*. Com alguns ajustes, o *TOPSIS* pode ser utilizado na busca de avaliação de desempenho, pois permite

aferir o quão próxima da solução ideal a alternativa está. Nesse tipo de aplicação, da problemática do tipo β as soluções *ideal* e *anti-ideal* funcionam como os limites, superior e inferior, de cada categoria de desempenho.

5.2.1. ELECTRE TRI

O *ELECTRE TRI* classifica as diversas alternativas para a solução de um problema por meio da comparação de cada alternativa potencial com uma referência estável (padrão/alternativa de referência). Essas alternativas de referência são fictícias e definidas para limitar as diversas categorias. Assim, cada categoria é limitada inferior e superiormente por duas alternativas de referência (Gomes *et al.*, 2004). Conhecidas as alternativas de referência, $b_0, b_1, b_2, \dots, b_h$, e os critérios i_1, i_2, \dots, i_n , definem-se as categorias E^1, E^2, \dots, E^m . Para um dado critério i , a alternativa a será localizada em uma determinada categoria, em função de sua avaliação $g_i(a)$. Na Figura 5.1, que ilustra o procedimento de alocação do método, é possível observar, por exemplo, que a alternativa a , sob o critério i_2 , é localizada na categoria E^2 , em função de sua avaliação $g_2(a)$.

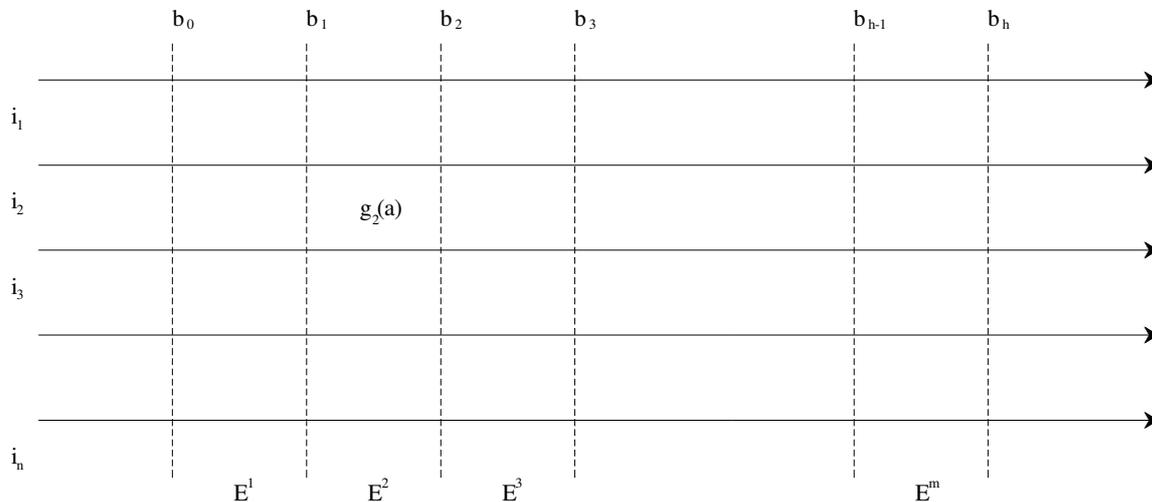


Figura 5.1. Alternativas de Referência (b), Critério (i) e Categorias (E) no *ELECTRE TRI* (Yu e Roy, 1992)

Os múltiplos critérios considerados no método estabelecem uma relação de superação de uma alternativa a , a ser localizada em cada uma das alternativas de referência, a partir de um processo conhecido como Procedimento de Agregação Multicritério (PAM). De acordo

com Yu e Roy (1992), as condições prévias a serem observadas para estabelecer essas relações são:

- 1) a família de critérios é uma família de pseudocritérios;
- 2) a tabela de desempenho das alternativas está construída;
- 3) são conhecidos, para cada alternativa de referência b_i , os limites de indiferença $q_i(b_i)$, de preferência $p_i(b_i)$ e de veto $v_i(b_i)$, para cada critério i ;
- 4) os pesos dos critérios são definidos, para cada alternativa de referência, como sendo $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$, em que $w_i > 0$, qualquer que seja i ;
- 5) para o procedimento de agregação, deve-se fixar um valor real, situado no intervalo entre 0,5 e 1, denominado nível de corte (λ).

Para que o método possa estabelecer uma relação de desclassificação entre uma ação a e uma ação de referência b , devem ser calculados os denominados índices de concordância e discordância por critério e global, e o índice de credibilidade, para verificar em que medida uma ação desclassifica a outra. Um índice de concordância $c_i(a,b)$ quer dizer que sob o critério i da asserção “ a é ao menos tão bom quanto b ” assim como um índice $c_i(b,a)$ quer dizer sob a asserção i que “ b é ao menos tão bom quanto a ”. Da mesma forma, o índice de concordância global $C(a,b)$ indica que “ a é tão boa quanto b ” assim como o índice global $C(b,a)$ indica que “ b é tão bom quanto a ”.

O cálculo de $c_i(a,b)$ é realizado da seguinte forma:

- Se $g_i(a) \leq g_i(b) - p_i$ então $c_i(a,b) = 0$.
- Se $g_i(a) > g_i(b) - p_i$ então $c_i(a,b) = 1$.
- Se $g_i(b) - p_i < g_i(a) \leq g_i(b) - q_i$ então $0 < c_i(a,b) \leq 1$, em que $c_i(a,b)$ é obtido por meio de interpolação linear, de acordo com a fórmula:

$$c_i(a, b) = \frac{p_i - [g_i(a) - g_i(b)]}{p_i - q_i} \quad (5.5)$$

Sendo: p_i = limite de preferência definido para o critério i ;

q_i = limite de indiferença definido para o critério i ;

g_i = função de avaliação do critério i .

O mesmo procedimento deve ser usado para calcular $c_i(\mathbf{b}, \mathbf{a})$. É necessário observar que, em relação aos conceitos apresentados, a soma de $c_i(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ e de $c_i(\mathbf{b}, \mathbf{a})$ não é necessariamente igual a 1 (um). Calculados os índices de concordância de cada critério, pode-se realizar o cálculo dos índices globais de concordância, utilizando a seguinte fórmula:

$$C(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i c_i(\mathbf{a}, \mathbf{b})}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (5.6)$$

Para o cálculo do índice de discordância $d_i(\mathbf{a}, \mathbf{b})$, deve-se considerar que:

- 1) $d_i(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ = índice de discordância sob o critério i da proposição “ \mathbf{a} é tão boa quanto \mathbf{b} ”.
- 2) $d_i(\mathbf{b}, \mathbf{a})$ = índice de discordância sob o critério i da proposição “ \mathbf{b} é tão boa quanto \mathbf{a} ”.
- 3) v_i = limite de veto definido para o critério i .

Assim, têm-se que:

- Se $g_i(\mathbf{a}) > g_i(\mathbf{b}) - p_i$ então $d_i(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 0$.
- Se $g_i(\mathbf{a}) < g_i(\mathbf{b}) - v_i$ então $c_i(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 1$.
- Se $g_i(\mathbf{b}) - v_i < g_i(\mathbf{a}) \leq g_i(\mathbf{b}) - p_i$ então $0 < d_i(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \leq 1$, em que $d_i(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ é obtido por meio de interpolação linear, de acordo com a fórmula:

$$d_i(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{[g_i(\mathbf{b}) - g_i(\mathbf{a})] - p_i}{v_i - p_i} \quad (5.7)$$

As Figuras 5.2 e 5.3 apresentam graficamente os índices de concordância e discordância, segundo cada critério (Tervonen *et al.*, 2009).

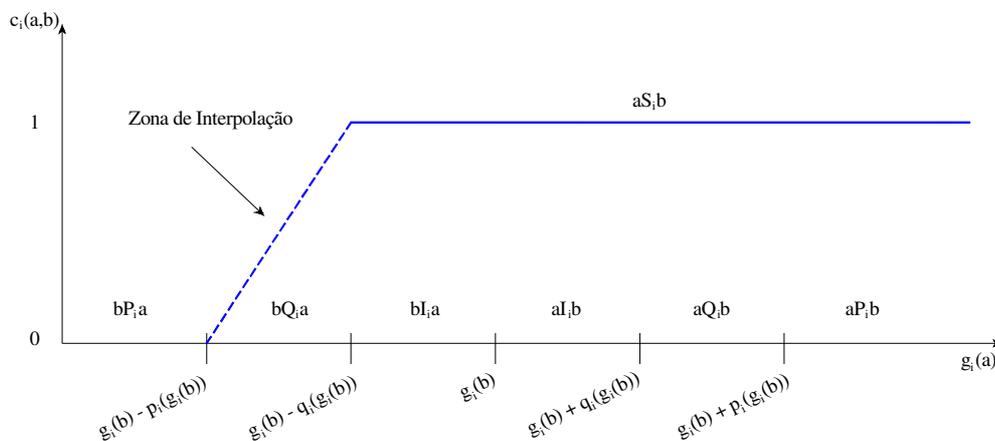


Figura 5.2. Índice de concordância $c_i(\mathbf{a}, \mathbf{b})$

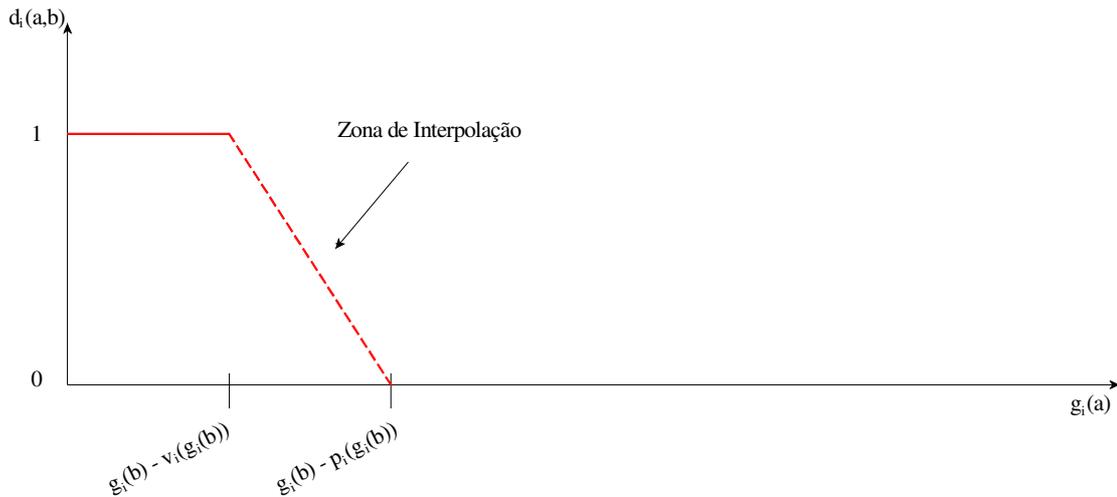


Figura 5.3. Índice de discordância $d_i(a,b)$

Para mostrar como a “alternativa a supera a alternativa de referência b ”, considerando os índices de concordância $c_i(a,b)$ e de discordância $d_i(a,b)$, determina-se o índice de credibilidade, representado por $\sigma_s(a,b)$. A determinação do índice de credibilidade constitui o PAM.

Em situações em que não existem critérios discordantes ou se consideram insuficientes todos os índices de discordância em relação ao valor do índice de concordância, o índice de credibilidade $\sigma_s(a,b)$ coincidirá com o valor do índice global de concordância $C(a,b)$ (Gomes *et al.*, 2004).

Sob um critério discordante i , em que se rejeita totalmente a proposição “ a supera b ” ($d_i(a,b)=1$), o índice de credibilidade passa a ser nulo, ou seja, a proposição “ a supera b ”, passa a não ser globalmente verossímil.

Quando sob um critério i , o valor de $d_i(a,b)$ situa-se entre o valor de $C(a,b)$ e 1 (um), o índice de credibilidade $\sigma_s(a,b)$ de “ a supera b ” deve ser diminuído, incorporando, pois, um “veto parcial” estabelecido pelo critério i .

Analicamente, o valor de $\sigma_s(a,b)$ é definido da seguinte forma: $F(a,b)$ é o conjunto de critérios para os quais o valor calculado de $d_i(a,b)$ é superior ao índice de concordância global $C(a,b)$.

Dessa forma:

$$- \text{ Se } F(a, b) = \left\{ i \in \frac{F}{d_i(a,b)} > C(a, b) \right\} = \emptyset \text{ então } \sigma_s(a,b) = C(a,b). \quad (5.8)$$

$$- \text{ Se } F(a, b) \neq \emptyset \text{ então } \sigma_s(a,b) = C(a,b) \prod \frac{1-d_i(a,b)}{1-C(a,b)}, \quad i \in F(a, b). \quad (5.9)$$

De forma análoga, calcula-se o valor de $\sigma_s(b,a)$. Na Figura 5.4 são representados os procedimentos efetuados na relação de superação entre a alternativa a e a alternativa de referência b , a partir dos índices de credibilidade e do nível de corte. Outros parâmetros: incomparabilidade (R), preferência ($>$) e indiferença (I) representam operadores que definem as três relações finais possíveis entre a e b (Yu e Roy, 1992 e Maystre *et al.*, 1994).

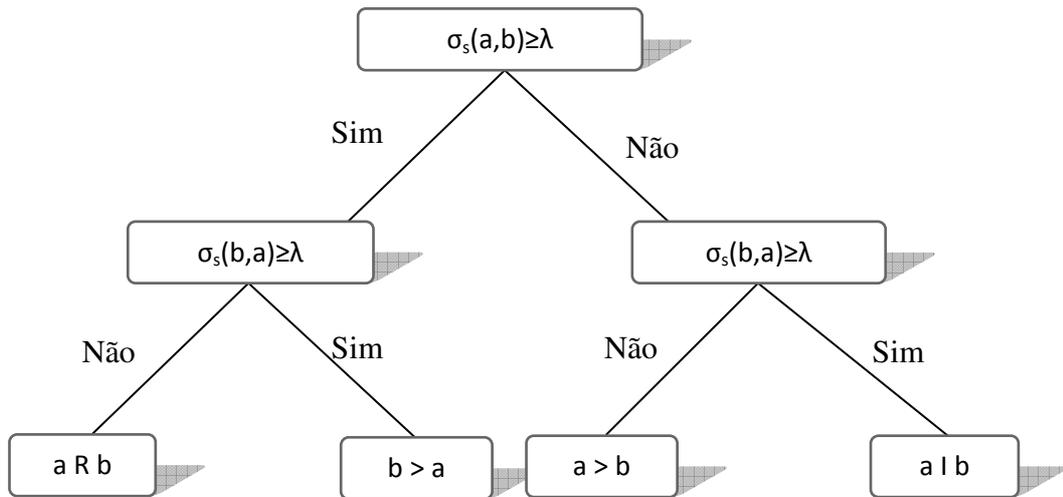


Figura 5.4. Relação entre a e b a partir de $\sigma_s(a,b)$, $\sigma_s(b,a)$ e λ . (Yu e Roy, 1992)

Para os valores de nível de corte (λ) mais elevados, os quais caracterizam as decisões em que se procuram minimizar as diferentes incertezas, a ocorrência da relação de incomparabilidade entre alternativas poderia ser mais frequente, mantendo-se inalteradas todas as outras condições do problema. Do mesmo modo, caso escolha-se um valor mais reduzido de λ , em que a exigência seja menor com relação às incertezas, poderia aumentar-se a frequência das relações de indiferença.

O procedimento de cálculo de $\sigma_s(a,b)$ e $\sigma_s(b,a)$ repete-se para cada alternativa de referência b_i . O número de relações de preferência entre a e b_i corresponde, assim, ao número de alternativas de referência. Deve-se passar, então, ao procedimento de alocação da alternativa a em uma das categorias E^i predefinidas.

O procedimento de alocação no *ELECTRE TRI* pode ser feito de duas formas: uma pessimista e uma otimista. Ambos os procedimentos utilizam a comparação, de forma sistemática, para alocar a alternativa entre as alternativas de referência. A distinção entre os dois procedimentos reside na sequência dessa comparação e no critério de identificação da categoria de localização.

No procedimento pessimista, a comparação de a inicia-se com a melhor alternativa de referência e prossegue para a alternativa imediatamente inferior, até que se identifique a primeira alternativa de referência b_i , que é superada por a . Dessa forma, localiza-se a alternativa a na categoria limitada inferiormente pela alternativa de referência b_i . Esse procedimento é indicado para situações em que se exige prudência ou onde há escassez de recursos.

Quanto ao procedimento otimista, verifica-se que a comparação de a inicia-se com a pior alternativa de referência, seguida da alternativa imediatamente superior, até identificar-se a primeira alternativa de referência b_i , que supera a . Portanto, a alternativa a é localizada na categoria limitada superiormente pela alternativa de referência b_i . A aplicação desse procedimento é indicada para situações em que se deseja favorecer ações que possuam atrativos particulares ou qualidades excepcionais.

Na prática, o caso pessimista pode ser aplicado quando os recursos disponíveis são limitados, visto que esse procedimento, na dúvida entre categorias, localiza as alternativas analisadas nas categorias mais baixas possíveis. Em contraposição, o procedimento otimista procura “localizar as alternativas nas categorias mais altas possíveis” (Yu e Roy, 1992). A Figura 5.5 descreve o esquema geral do método.

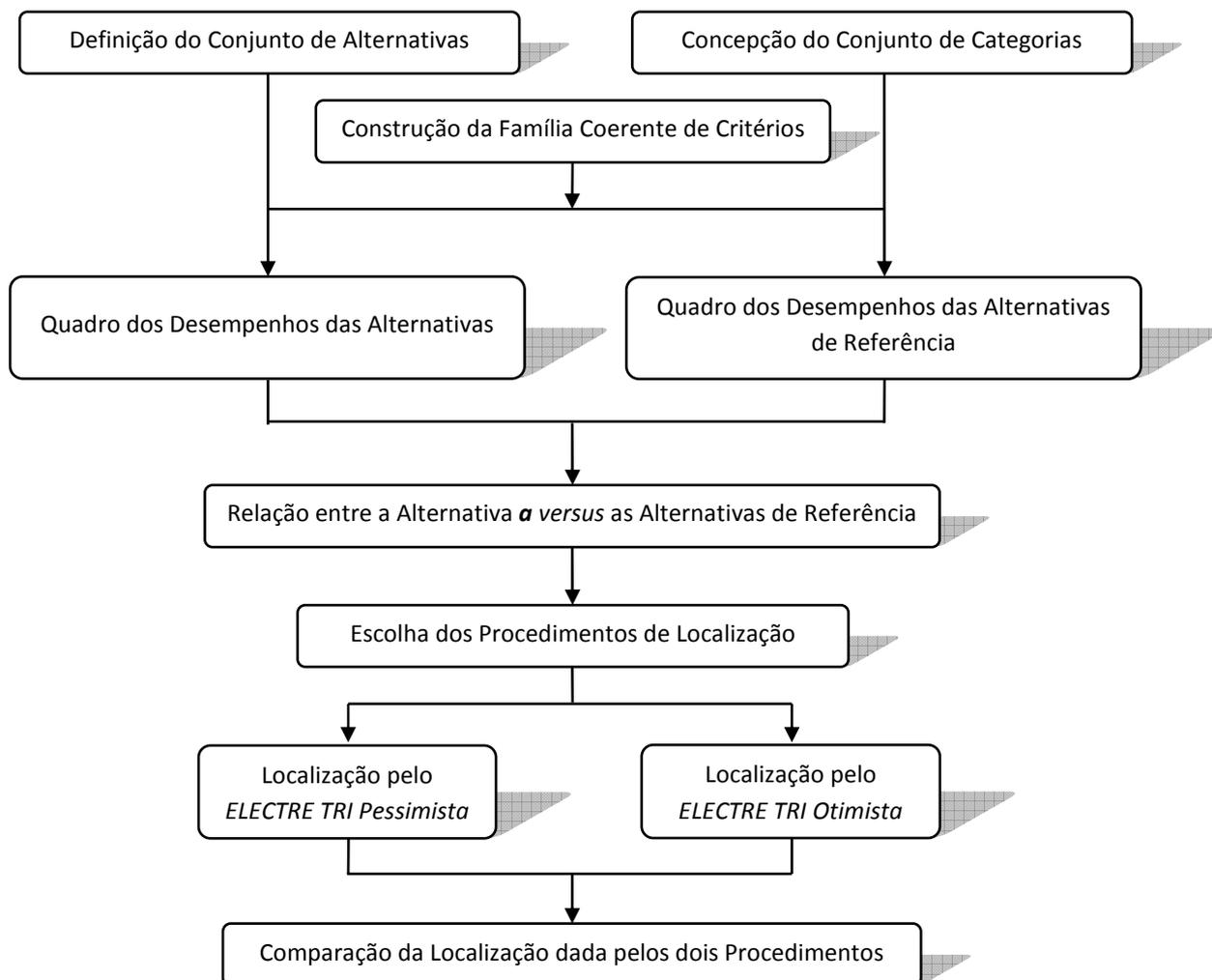


Figura 5.5. Diagrama de utilização do *ELECTRE TRI* (Adaptado de Yu e Roy, 1992).

Pode-se considerar que o método apresenta dois interesses principais, que são:

- 1) julgar uma alternativa potencial por si mesma, independente das outras alternativas potenciais e;
- 2) identificar um ou vários padrões de referência. A utilização do *ELECTRE TRI* ocorre a partir da agregação dos diferentes critérios de avaliação, com o objetivo de obter uma ponderação global do desempenho da alternativa a ser valorizada (Gomes *et al.*, 2004).

5.2.1.1 Considerações acerca dos parâmetros de entrada do *ELECTRE TRI*

O uso do método *ELECTRE TRI* implica na determinação de um conjunto de parâmetros, formados pelos pesos e limiares de preferência, indiferença e veto, os quais são utilizados para representar a preferência do decisor na tomada de decisão. Rogers e Bruen (1998)

afirmam que há um alto grau de subjetividade na determinação dos limiares de indiferença, preferência e veto, os quais são expressos em termos de erros e incertezas associadas com a valoração de cada critério.

A atribuição de um valor numérico aos limiares de preferência, indiferença e veto constitui uma tarefa delicada, e a sua definição apóia-se mais sobre considerações de bom senso que sobre a procura de um valor exato. Normalmente, é necessário proceder a uma análise de robustez, avaliando-se a estabilidade dos resultados obtidos em relação à variação dos diferentes parâmetros (Yu e Roy,1992). Rogers e Bruen (1998) concordam com esse aspecto e recomendam a elaboração de análise de sensibilidade utilizando os valores extremos de p e q , para cada critério em questão, de forma a verificar se a subjetividade dos dados de entrada não afetou significativamente a classificação final obtida.

Roy *et al.* (1986, *apud* Rogers e Bruen, 1998) expressaram p e q em termos de uma equação linear e verificaram que, em casos simplificados em que a imprecisão apresenta uma simetria em relação ao seu valor médio, o valor de p é, no mínimo, duas vezes o valor de q . Entretanto, a valoração de p como algum múltiplo de q , sem que haja um embasamento físico, também não é recomendada, uma vez que em contextos mais amplos, onde não se esteja considerando apenas a estimativa de erro, esses dois limiares podem não ter conexão direta. Em avaliações de impactos ambientais, é mais interessante que p seja definido como a diferença entre o valor dos critérios a partir da qual pode-se observar que as pessoas têm uma clara preferência de uma alternativa em relação à outra. Nesses tipos de avaliações, esses limiares, que governam as relações de troca entre as alternativas, devem considerar os efeitos sobre os humanos como sendo a diferença entre o valor de dois critérios quaisquer. Ou seja, os limiares p , q e v , devem incorporar não somente os erros e as incertezas, mas também a sensibilidade humana para diferenciar os níveis de critérios (Rogers e Bruen, 1998).

Em outra interpretação desses limiares, entende-se o valor de q como a mínima margem de incerteza associada a um dado critério e o valor de p como sendo a máxima margem de erro associada ao critério em questão. No entanto, em qualquer interpretação, verificou-se que os limiares de indiferença e preferência afetam adversamente, seja pela imprecisão, erro ou incerteza, a precisão da valoração dos critérios (Rogers e Bruen, 1998).

Em relação ao valor do veto, v , recomenda-se que ele seja, no mínimo, igual a p , mas de preferência, consideravelmente maior que p . Frequentemente se observa o valor de v de três a dez vezes maior que o valor de p e atendendo à seguinte relação: $q < p < v$. É comum estabelecer uma relação constante de v/p_i , para cada critério i , sendo que o valor dessa relação deve ser maior que o peso, w , estabelecido para o referido critério. Isto produz um efeito de neutralizar o mecanismo de veto para o critério de menor importância, enquanto ressalta o valor dos critérios de maior importância na tomada de decisão.

Quanto mais próximo v está de p , menor a diferença de valor entre critérios. Quanto mais v for maior que p , menos o limiar de veto irá afetar a relação de preferência global de uma opção sobre a outra. Assim o valor de v deve ser elevado em relação à p , nos critérios de menor importância, e o valor de v e p devem ser relativamente próximos nos critérios de maior importância. Dessa forma, o veto só se torna um fator crítico na análise para os critérios de maior importância (Rogers e Bruen, 1998).

A relação entre v e p pode ser mais caracterizada como complexa e mal delineada, do que rígida e formal. Esses parâmetros representam duas faces distintas da importância do critério, que são demonstradas pelos índices de concordância e discordância. Ou seja, o limiar do veto pode somente afetar o processo de preferência de uma forma negativa, recusando uma relação de preferência devido a contra-indicações extremas sobre um determinado critério. De uma forma simplificada, o limiar do veto pode caracterizar as condições sobre as quais um critério de discordância pode vetar uma relação de preferência (Rogers e Bruen, 1998). O limiar de veto não é uma exigência do método. A sua utilização pode ser condicionada pelas particularidades do problema em análise e pelas preferências do analista.

Outra abordagem para a inferência de parâmetros no método *ELECTRE TRI* foi apresentada por Mousseau e Slowinski (1998), em que se sugere que a inferência dos parâmetros de entrada seja feita a partir de ações que servem de exemplos de alocação. Ou seja, são construídas algumas ações que são alocadas nas categorias predefinidas, de acordo com a preferência do decisor. Com base nesses exemplos, é proposto um procedimento de otimização não-linear, que possibilita uma inferência indireta dos parâmetros, evitando-se que eles sejam determinados por meio de julgamentos tradicionais, que requerem um alto esforço cognitivo do decisor.

5.2.2 TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)

O Método pode ser traduzido como uma “Técnica de Ordenamento de Preferências por Similaridade a uma Solução ideal” e, assim, é frequentemente aplicada a problemas de tomada de decisão. O *TOPSIS* pode ser enquadrado tanto como um método sem articulação de preferências por parte do decisor, quanto como um método de articulação progressiva.

O Método *TOPSIS* foi desenvolvido por Hwang e Yoon (1991) *apud* Pomerol e Barba-Romero (1993) e pode ser visto como um avanço da Programação de Compromisso, pois permite identificar as soluções não-dominadas por meio da consideração da distância de cada alternativa à solução *ideal*, *Positive Ideal Solution* (PIS) e à inversa, denominada de *anti-ideal*, *Negative Ideal Solution* (NIS). A Programação de Compromisso considerava em sua análise apenas a distância a solução ideal.

Segundo Vergara *et al.* (2004), a definição de um ponto de referência é usualmente o primeiro passo na solução de problemas com múltiplos objetivos. Com a definição do ponto de referência, a solução passa pela localização das alternativas ou decisões que estão próximas do ponto de referência. Então, o problema passa a ser como medir a distância das alternativas ao ponto de referência. O Método de Critério Global (Lai *et al.*, 1994 e Goicoechea *et al.*, 1982) mede esta distância usando o comprimento métrico L_p . O comprimento métrico L_p define a distância entre dois pontos (d_p), f e f^* (o ponto analisado e o ponto ideal), em um espaço de k dimensões:

$$d_p = [\sum_{t=1}^k (f_t^* - f_t)^p]^{1/p} \quad (5.10)$$

Sendo $p \geq 1$.

Quando p aumenta, a distância d_p decresce, dando maior ênfase ao desvio de cada alternativa em relação à solução ideal. Especificamente, p reflete a importância que o decisor atribui aos desvios máximos. Se $p = 1$, todos os desvios em relação ao ideal tem peso igual na determinação de L_p . Enquanto que $p = 2$ implica que os desvios possuem pesos proporcionais à sua magnitude. Por último, se $p = \infty$, o maior desvio recebe a máxima importância. Segundo Melachrinoudis e Xanthopoulos (1998), quando $p = 1$, a distância é do tipo retangular, quando $p=2$, a distância é do tipo Euclidiana e quando $p = \infty$,

a distância é do tipo de Tchebycheff. As Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 apresentam respectivamente as distâncias retangular, Euclidiana e de Tchebycheff à solução ideal.

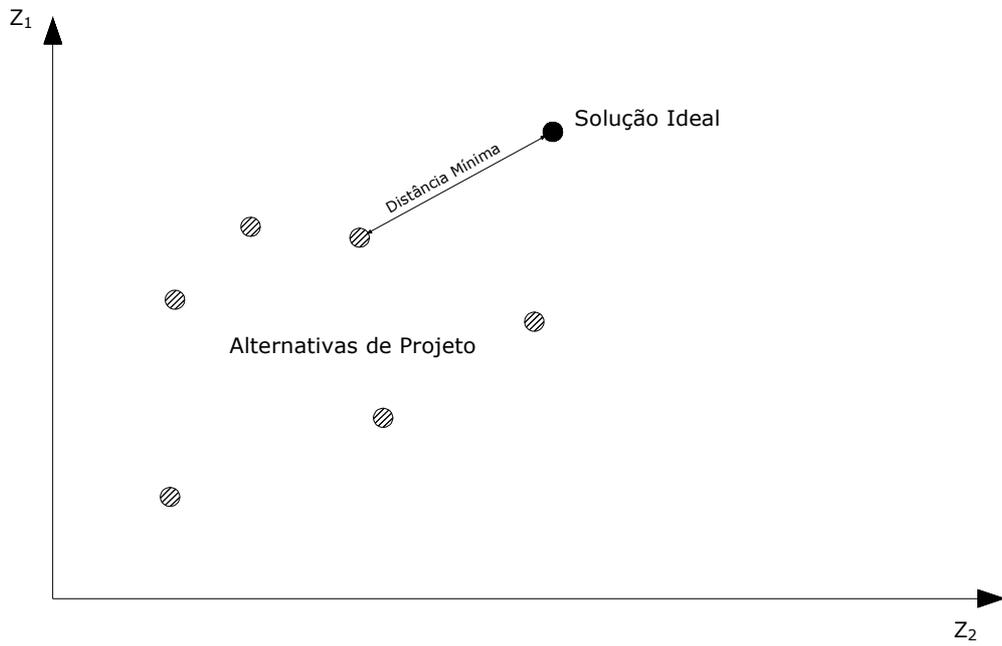


Figura 5.6. Distância retangular (p=1) das alternativas de projeto à PIS (Vetschera, 2005)

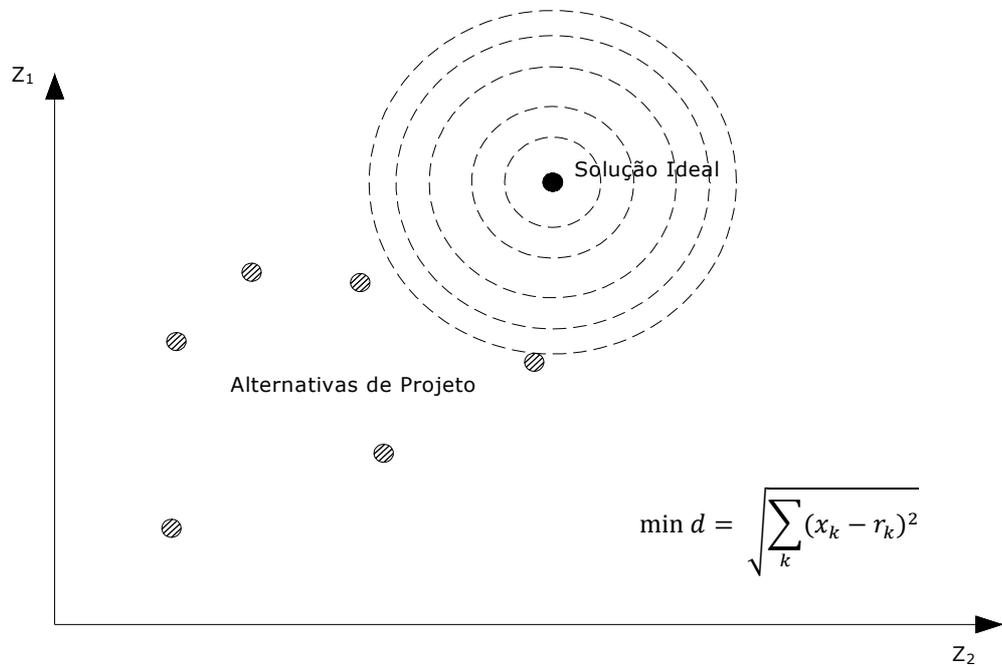


Figura 5.7. Distância Euclidiana (p=2) das alternativas de projeto à PIS (Vetschera, 2005)

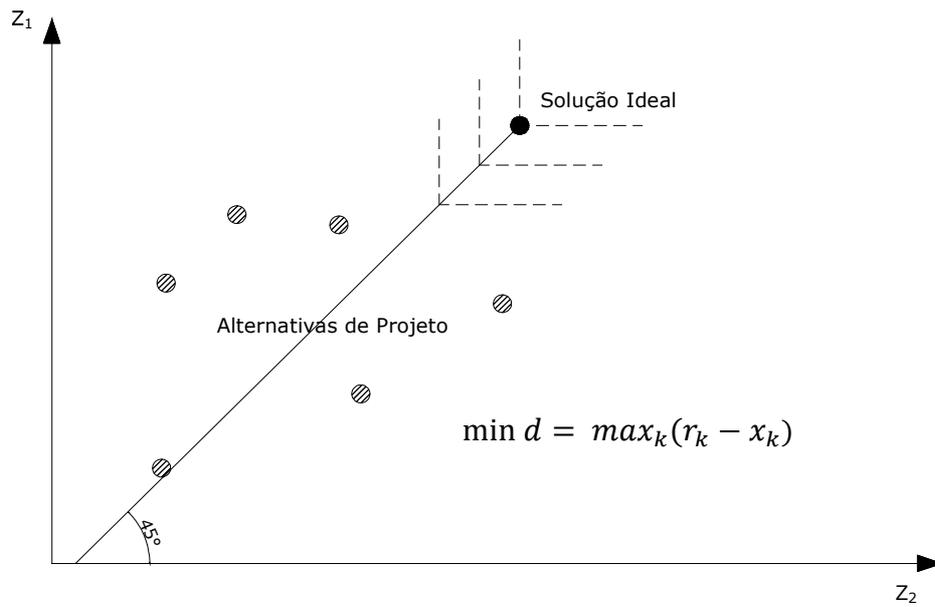


Figura 5.8. Distância de Tchebycheff ($p = \infty$) das alternativas de projeto à PIS (Vetschera, 2005)

Na Figura 5.9 adaptada de Pomerol e Barba-Romero (1993), pode-se perceber que a tomada de decisão pautada somente na distância, a solução *ideal* ou à *anti-ideal* pode levar a resultados diferentes. São apresentadas cinco alternativas A, B, C, D e E de uma escolha com dois critérios. Os pontos referentes à solução positiva ideal (PIS) e à solução negativa ideal (NIS), também estão representados na figura.

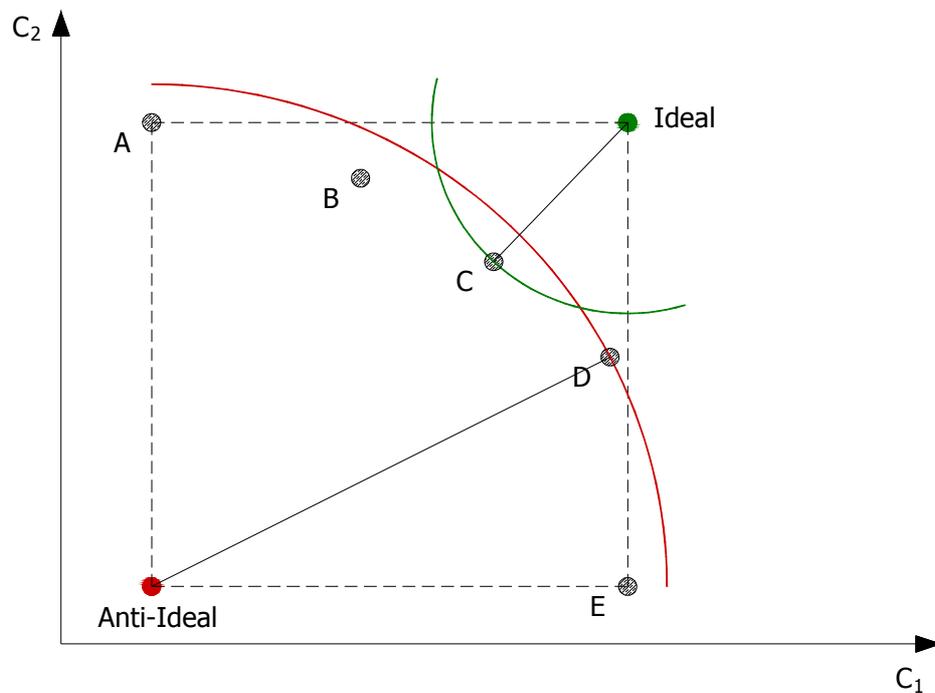


Figura 5.9. Distância das alternativas à solução ideal e anti-ideal (Pomerol e Barba-Romero, 1993).

Considerando pesos iguais para os dois critérios apresentados, e utilizando a distância Euclidiana d_2 , a alternativa C seria considerada a mais próxima da ideal, enquanto a alternativa D seria a mais distante da anti-ideal. A evolução que se pode notar do Método *TOPSIS* em relação à Programação de Compromisso está na solução desse impasse, escolher a alternativa mais adequada considerando tanto a distância à solução ideal quanto a distância à solução anti-ideal.

Para cada alternativa $a_j = (a_{j1}, a_{j2}, a_{j3}, \dots, a_{jn})$ são calculadas as distâncias $d_p^M(a_j)$ e $d_p^m(a_j)$ consideradas as distâncias à solução ideal e a à anti-ideal, respectivamente. O cálculo é feito segundo as seguintes expressões:

$$d_p^M(a_j) = [\sum_i w_i^p |a_i^M - a_{ji}|^p]^{1/p} \quad (5.11)$$

$$d_p^m(a_j) = [\sum_i w_i^p |a_i^m - a_{ji}|^p]^{1/p} \quad (5.12)$$

Em que:

i = critério analisado;

w_i = peso do critério i ;

p = valor correspondente ao tipo de distância que se deseja calcular;

a_j^M = valor máximo, dentre as alternativas, para o critério i ;

a_j^m = valor mínimo, dentre as alternativas, para o critério i ;

a_{ji} = valor da alternativa j , para o critério i .

De posse das equações 5.11 e 5.12 pode-se calcular a taxa de *similitude* $D_p(a_i)$. Essa taxa varia do valor 0 (zero) para a alternativa *anti-ideal* a 1 (um) para a alternativa *ideal*. Esse valor permite ordenar as alternativas analisadas no problema.

$$D_p(a_i) = \frac{d_p^m(a_j)}{[d_p^M(a_j) + d_p^m(a_j)]} \quad (5.13)$$

A taxa de similitude pode ser vista como um coeficiente de similaridade para cada alternativa, mostrando o quanto cada uma representa da solução positiva ideal (PIS). Assim, pode-se obter uma quantificação do grau de aceitabilidade das alternativas (Vergara *et al.*, 2004).

5.3. MÉTODOS MULTICRITÉRIO E MULTIOBJETIVO APLICADOS À AVALIAÇÃO NAS ÁREAS DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

O patamar tecnológico e científico atingido nos dias de hoje, permite almejar níveis de excelência em qualquer área de produtos e serviços. A gestão e o manejo das águas pluviais urbanas ainda se encontram distantes desses patamares. A avaliação de desempenho inserida no contexto dos recursos hídricos e do saneamento ambiental já foi objeto de estudo de algumas pesquisas, que irão amparar a proposição do procedimento de avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana.

Generino (1999) propôs o desenvolvimento de metodologias multicritério para procedimentos de avaliação em auditorias ambientais aplicados a estações de tratamento de esgotos em Brasília-DF. Foi feito o uso dos métodos *MCDM-ME* e *ELECTRE III* que posteriormente foi substituído pelo *ELECTRE TRI* devido a adaptações no uso da metodologia. Os critérios para aplicação das auditorias foram selecionados pela autora com base em pesquisas bibliográficas. Os pesos dos critérios estavam compreendidos entre 1 (um) e 7 (sete) e deveriam ser definidos pelo auditor responsável pela avaliação das estações de tratamento de esgoto. A pesquisa utilizava como ferramenta o preenchimento de um questionário pontuado para obtenção dos valores de cada critério. De posse desses valores obtidos e dos pesos adotados pelos auditores para os critérios, a estação poderia ser avaliada.

Brostel (2002) desenvolveu um modelo de avaliação de desempenho global de estações de tratamento de esgotos sanitários. A avaliação contemplava critérios de desempenho associados às dimensões técnica, administrativa, financeira, ambiental e socioeconômica. O ponto de partida da pesquisa foi a definição dos objetivos que devem ser atendidos por uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e dos critérios associados a esses objetivos. A pesquisa contou com uma etapa de consulta a especialistas para definição dos diferentes critérios sob cada uma das dimensões de avaliação e definição dos pesos dos critérios. A autora utilizou o método *ELECTRE TRI* na aplicação da metodologia. A avaliação foi feita por meio de um levantamento preliminar de informações com apoio de protocolos de avaliação, que permitem valorar os critérios utilizados. A pesquisa foi aplicada a quatro

estudos de caso, obtendo-se resultados pertinentes e que permitiram além de avaliar globalmente o desempenho, identificar os aspectos mais vulneráveis da ETE.

Ribeiro (2003) fez uso do método *ELECTRE TRI* para avaliar o desempenho ambiental de Estações de Tratamento de Água (ETA). Para definição dos critérios ambientais foi composto um painel de especialistas com experiência em operação de ETA, em auditorias ambientais, em avaliação ambiental de projetos, entre outros. Os critérios foram apresentados aos especialistas, que em seguida, hierarquizavam os mesmos e faziam considerações sobre a pertinência dos critérios selecionados e sobre a eventual retirada de algum critério ou inclusão de outro. Os padrões de referência de comparação necessários para aplicação do *ELECTRE TRI* também passaram pela supervisão de especialistas. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios e permitiram identificar os principais impactos ambientais produzidos por uma ETA sejam eles positivos ou negativos. A autora concluiu também que a utilização de um método de apoio a decisão foi fundamental para compilação e compreensão adequada das informações produzidas.

Castro (2007) propôs uma metodologia para avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água. Para isso, foram concebidos indicadores relacionados a cada um dos aspectos de qualidade, quantidade e regime alterados, que foram tratados por meio de métodos de agregação, proporcionando o estabelecimento de uma sistemática de análise para o apoio à decisão quanto à aceitação desses empreendimentos nas áreas influentes nos corpos d'água. O autor concentra a atividade de avaliação de impactos no desenvolvimento de indicadores de desempenho. Todos os indicadores propostos foram obtidos por meio de expressões de cálculos matemáticos o que, segundo ele, objetivou reduzir o caráter de subjetividade em sua avaliação. Para aplicação da metodologia foram utilizados os métodos *ELECTRE TRI* e *TOPSIS*.

Assim como Brostel (2002) e Ribeiro (2003), Castro (2007) consultou especialistas para verificar a pertinência dos indicadores propostos, frente aos aspectos relevantes às alterações provocadas nos recursos hídricos devido ao desenvolvimento urbano. Dentre as conclusões obtidas pela pesquisa, pode-se destacar a confirmação da utilidade dos indicadores de desempenho nas diversas áreas associadas aos recursos hídricos e da funcionalidade dos métodos *ELECTRE TRI* e *TOPSIS* para esse tipo de abordagem de problemas de avaliação.

Cardoso (2008) definiu como objetivo central de sua pesquisa o desenvolvimento de uma metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas, com base em indicadores que integrassem aspectos hidrológicos e hidráulicos, ambientais, sanitários e sociais. A autora fez uso de indicadores de desempenho associados aos impactos causados pela intervenção nos corpos d' água, e definiu os pesos dos indicadores por meio de consulta a especialistas. Para a avaliação foi utilizado o Método da Ponderação, de fácil aplicação e simplicidade, que permite a agregação de diferentes atributos dentro de uma única função, formando um único valor. Como contribuição científica, a autora destaca a utilidade dos indicadores, a complexidade e necessidade dos trabalhos referentes a avaliações globais, a necessidade de inclusão dos diferentes agentes envolvidos na avaliação e da importância da ferramenta multicritério/multiobjetivo na produção de resultados satisfatórios.

A Tabela 5.2 apresenta um resumo dos trabalhos que utilizaram métodos multicritério e multiobjetivo associados a avaliações nas áreas de recursos hídricos e saneamento ambiental.

Tabela 5.2. Resumo dos trabalhos revisados com métodos multicritério e multiobjetivo aplicados a avaliação nas áreas de recursos hídricos e saneamento ambiental

AUTORES	TÍTULO	MÉTODOS UTILIZADOS	ANO DE PUBLICAÇÃO
Generino	<i>Desenvolvimentos em metodologias multicritério para procedimentos de avaliação em auditorias ambientais: aplicação para estações de tratamento de esgotos em Brasília-DF.</i>	- MCDM-ME - ELECTRE III ELECTRE TRI	1999
Brostel	<i>Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de estações de tratamento de esgotos sanitários (ETEs).</i>	- ELECTRE TRI	2002
Ribeiro	<i>Avaliação de desempenho ambiental em estações de tratamento de água.</i>	- ELECTRE TRI	2003
Castro	<i>Proposição de metodologia para avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água.</i>	- ELECTRE TRI - TOPSIS	2007
Cardoso	<i>Desenvolvimento de metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de águas em áreas urbanas.</i>	- Método das Ponderações	2008

5.4. MÉTODOS MULTICRITÉRIO E MULTIOBJETIVO APLICADOS EM PESQUISA ASSOCIADAS À DRENAGEM URBANA

Há algum tempo as pesquisas que combinam métodos multicritério e multiobjetivo à drenagem urbana têm sido desenvolvidas. A necessidade de se tomar decisões para definição de projetos, de alocação de investimentos e de planos e ações para gestão das águas pluviais urbanas motivou vários pesquisadores.

Um dos centros de pesquisa que mais contribuem com essa linha de pesquisa é o Departamento de Hidrologia Urbana do *Institut National des Sciences Appliquées de Lyon* (INSA). Muitas universidades brasileiras como a Universidade de Brasília (UnB) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) promovem o intercâmbio de pesquisadores com essa instituição, são os casos das pesquisas desenvolvidas por Castro (2007), Moura (2008) e Milograna (2009).

Essas universidades brasileiras normalmente possuem seus programas de pós-graduação associados à drenagem urbana vinculados às escolas de engenharia civil. Na UnB a drenagem urbana está inserida nas linhas de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, submetido ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Na UFMG a drenagem urbana está contextualizada no Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos.

Uma das principais linhas de pesquisa associadas à drenagem urbana do INSA aborda a problemática da seleção de alternativas de sistemas de drenagem urbana, que normalmente é feita em duas etapas: na primeira, as alternativas de sistemas de drenagem tecnicamente inviáveis são descartadas (Fase de Eliminação), na segunda, que promove a hierarquização das alternativas tecnicamente possíveis (Fase de Decisão). Um detalhamento maior dessa linha de pesquisa pode ser visto nos trabalhos de Azzout *et al.*(1995) e Barraud *et al.* (1999) .

A Figura 5.10 apresenta o diagrama de apoio à decisão desenvolvido nas pesquisas do departamento.

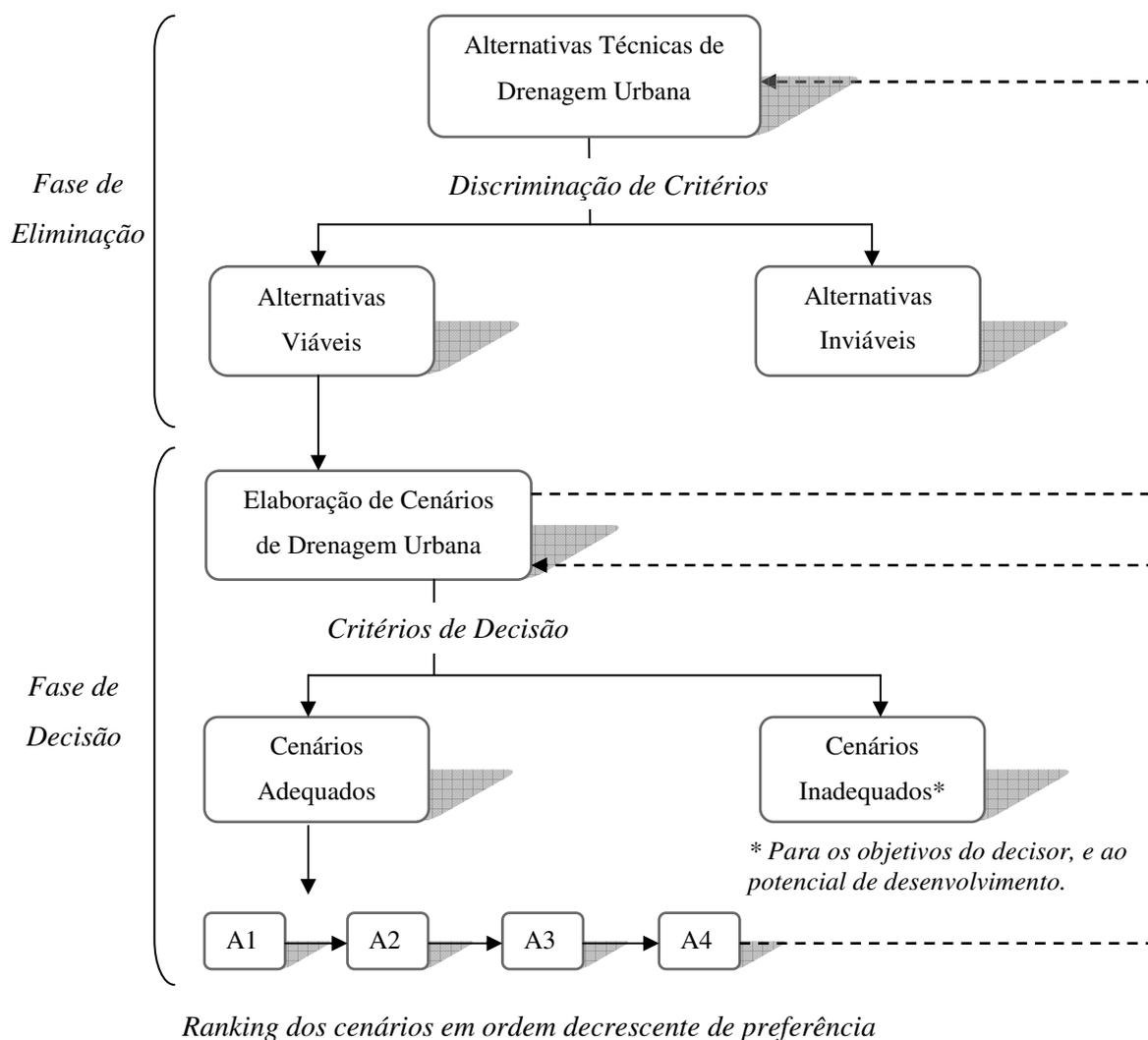


Figura 5.10. Diagrama do processo de auxílio à decisão para seleção de alternativas de drenagem urbana (Adaptado de Azzout *et al.*, 1995).

Segundo Azzout *et al.* (1995), as técnicas alternativas de drenagem urbana devem contemplar ações com baixos custos, que garantam a segurança da população contra inundações e sejam capazes de proteger e controlar a poluição nos corpos d'água. Na pesquisa desenvolvida é proposto um modelo que tem como objetivo descrever um procedimento que ajude a finalizar projetos de drenagem urbana, identificando as características do sistema e as possibilidades viáveis de aplicação e; informar ao decisor as vantagens e limitações das diferentes técnicas para auxiliar na implantação, gerenciamento e manutenção do sistema. Os pesquisadores consideram a fase de decisão a mais complexa associada ao problema, pois envolve o nível de conclusão do projeto, a definição dos critérios e o levantamento das informações disponíveis.

Azzout *et al.* (1995) utilizaram algumas combinações de medidas compensatórias para o desenvolvimento da pesquisa, entre elas pavimentos porosos, trincheiras e valas de infiltração, telhado de armazenamento e bacias de detenção. Para definir os critérios que seriam utilizados foram considerados diferentes tipos de objetos de estudo que poderiam ser: pistas de rolagem (estradas e vias), edificações, áreas de pedestres, pequenas ou grandes áreas residenciais, industriais, de estacionamento ou de jardins. Para hierarquizar as alternativas, é preciso definir corretamente quais as informações indispensáveis. A seleção de critérios deve ser adequada para que se tenha um modelo eficiente e que não seja muito extenso e de difícil operação. A informação para se estabelecer os diferentes critérios e a definição das variadas alternativas foi pautada em extensa pesquisa bibliográfica, e na consulta de analistas envolvidos nos processos de drenagem urbana sob diferentes pontos de vista. Os pesquisadores utilizam no trabalho métodos da Família *ELECTRE*.

Assim como Azzout *et al.* (1995), Barraud *et al.*(1999) apresentam o problema da seleção de alternativas de sistemas de drenagem. Para aplicação da metodologia de apoio é necessária a criação de cenários de drenagem urbana que fazem uso de técnicas compensatórias. A modelagem do processo de decisão parte de três princípios básicos:

- 1) a consulta aos agentes decisores para formular os objetivos;
- 2) os analistas ouvirem e ajudarem na busca de soluções e;
- 3) auxílio na aquisição de informação, desenvolvimento e identificação das possíveis soluções. Na fase de eliminação das alternativas tecnicamente inviáveis são considerados somente aspectos físicos e estruturais, utilizando basicamente informações sobre a morfologia do terreno e do funcionamento das alternativas. O uso de pavimentos permeáveis, por exemplo, não é adequado para áreas com grande circulação de veículos pesados.

Na pesquisa de Barraud *et al.*(1999), que complementa a publicação de Azzout *et al.*(1995), é apresentado o *software* DELTANOE, em plataforma *Windows*, como suporte do trabalho. Em uma etapa preliminar foi feita a identificação e determinação dos critérios relevantes para julgamento das alternativas de drenagem urbana, critérios esses incorporados ao banco de dados do *software*. Para utilização do programa, o analista deve responder uma série de perguntas associadas aos critérios identificados, para que possam ter seus valores atribuídos. Os resultados obtidos pelo programa são considerados

satisfatórios à medida que reduzem consideravelmente o universo de possibilidades de alternativas de sistemas de drenagem urbana, facilitando a etapa subsequente de hierarquização das alternativas.

No Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH) da UnB, Milograna (2001) trabalhou em sua dissertação de mestrado intitulada “*Estudo de Medidas de Controle de Cheias em Ambientes Urbanos*” com a criação de diferentes cenários de drenagem urbana (Sem intervenção, com bacias de retenção e com reservatórios distribuídos) aplicados a diferentes situações de urbanização (pré-urbanização, condição atual e condição futura), para determinação dos acréscimos nas vazões de cheias. Os resultados obtidos indicaram a eficiência das intervenções no contexto de drenagem urbana. Tanto as medidas localizadas quanto as distribuídas mostraram-se capazes de reduzir o pico dos hidrogramas de cheia. Embora feita de forma preliminar, é apresentada ainda uma avaliação econômica para as duas alternativas de controle testadas.

Outro departamento de pesquisa que tem desenvolvido estudos de drenagem urbana associados a métodos de auxílio à decisão, é o Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG. Algumas pesquisas, deste departamento, como as desenvolvidas por Castro *et al.* (2004), Moura (2004) e Baptista *et al.* (2005b) serão apresentadas a seguir.

Castro *et al.* (2004) realizaram uma análise multicritério para avaliação de sistemas de drenagem urbana por meio da proposição de indicadores e de sistemática de estudo. O objetivo geral do trabalho era propor uma metodologia que permitisse a comparação global das alternativas de projeto de sistemas de drenagem urbana, à luz do conjunto dos aspectos intervenientes, além dos critérios puramente técnicos normalmente considerados. A avaliação das alternativas foi feita sob aspectos técnicos, políticos, sociais, econômicos, ambientais, entre outros.

Castro *et al.* (2004) fazem o uso de indicadores de desempenho, que segundo os autores, são componentes essenciais em processos de tomada de decisão envolvendo múltiplos critérios, uma vez que permitem agregar informações relevantes. Uma das dificuldades apontadas no uso de indicadores é a integração de variáveis, que frequentemente envolvem

grandezas diferentes. Os indicadores utilizados se enquadravam em três grandes grupos de critérios: *objetivos*, *impactos da obra* (com indicadores de impactos hidrológicos, sanitários e sobre a qualidade das águas) e *inserção da obra* (com indicadores de inserção ambiental e social). Para aplicação da metodologia e, conseqüente hierarquização das alternativas, foram utilizados os métodos multicritério *Programação de Compromisso* (Zeleny, 1973) e *ELECTRE III* (Roy, 1978).

Castro *et al.* (2004) concluíram que, pode-se destacar a necessidade de adoção de ajustes e complementações por meio da incorporação de novos indicadores, relevando aspectos jurídicos, ecológicos, culturais, econômicos e financeiros. Além disso, a utilização de dois métodos de análise multiobjetivo e multicritério não afetou consideravelmente os resultados, fato que indicaria que os resultados estão mais estritamente associados aos critérios e aos dados utilizados do que ao método de apoio à decisão. Essa conclusão de que os métodos influíram pouco no resultado final pode também ser fruto de uma superficialidade na aplicação dos mesmos ou da robustez das alternativas selecionadas.

Moura (2004) desenvolve uma contribuição para avaliação global de sistemas de drenagem urbana com a incorporação de indicadores de custo associados aos indicadores propostos por Castro *et al.* (2004), os quais foram agregados produzindo um único indicador de desempenho. Os indicadores de desempenho representam os aspectos de eficiência técnica, ambiental e social. O indicador de custo contempla os custos de implantação, manutenção, operação e vida útil dos sistemas de drenagem utilizados. A autora destaca como objetivos centrais da drenagem urbana a prevenção contra inundações, a continuidade do desenvolvimento urbano e a recuperação dos corpos d'água. Alguns atores da drenagem urbana como os representantes de órgãos e agências ambientais, técnicos municipais, consultores e população afetada são considerados na pesquisa. Para o cruzamento das informações foi utilizado o método *TOPSIS*. Os resultados são apresentados em um Gráfico de Pareto com o índice de custos no eixo das abscissas e o índice de desempenho no eixo das ordenadas. A metodologia foi considerada satisfatória, prática e consistente, à medida que permite a classificação das alternativas de projeto.

Em 2006, Moura *et al.* deram continuidade ao trabalho de Moura (2004) fazendo uma comparação entre os resultados obtidos para avaliação de sistemas de drenagem urbana por

meio de uma análise de desempenho-custo e com a utilização do método multicritério *ELECTRE III*.

Segundo Moura *et al.* (2006), a obtenção de resultados utilizando o *ELECTRE III* considerou 13 (treze) indicadores, que tiveram seus pesos atribuídos de acordo com a importância relativa entre eles. Para análise, as metodologias foram aplicadas a um estudo de caso de uma área industrial localizada no sudeste da França, chamada Technopolis. Quatro diferentes cenários foram propostos, considerando alternativas clássicas e compensatórias, avaliados segundo tempos de retorno de 10, 30 e 100 anos, o que totalizaram 12 (doze) configurações diferentes para simulação. As simulações foram alteradas de acordo com diferentes pontos de vista considerados (Agentes ambientais, técnicos municipais, consultores e população afetada). Os resultados obtidos segundo as duas metodologias foram semelhantes, o que certificaria a utilização da análise desempenho-custo por ser um procedimento desenvolvido no país e de fácil aplicação.

Baptista *et al.* (2005b) apresentam uma metodologia de decisão objetiva para seleção de alternativas de sistemas de drenagem urbana, combinando diferentes cenários de acordo com aspectos técnicos, sanitários, sócio-ambientais e econômicos. No processo de seleção de alternativas, os autores adotam a mesma sequência apresentada por Barraud *et al.* (1999) e Azzout *et al.* (1995) em que o procedimento de hierarquização é precedido por uma etapa de eliminação de alternativas tecnicamente inviáveis. Para caracterização foram utilizados os indicadores de desempenho propostos por Castro *et al.* (2004) e Moura (2004). A ponderação dos pesos dos critérios foi feita por meio de pesquisa com especialistas envolvendo técnicos municipais, projetistas de sistemas de drenagem, membros de agências de regulação ambiental e pesquisadores.

A seleção de alternativas de sistemas de drenagem é feita através do *software AvDren*, desenvolvido pelos próprios autores, que permite a comparação das alternativas por meio da integração dos indicadores produzindo gráficos de eficiência, que confrontam custos e utilidade. A metodologia foi testada com três estudos de caso, e os resultados foram considerados satisfatórios. Concluíram que o processo de seleção desenvolvido apresenta uma sensibilidade baixa em relação às variações nos pesos dos critérios e nos valores dos indicadores (Baptista *et al.*, 2005b).

Artina *et al.* (2005) pesquisaram a utilização de indicadores de desempenho para análise da eficiência de sistemas de drenagem urbana. O propósito central da pesquisa é analisar a evolução dos impactos ambientais em função das modificações do sistema de drenagem urbana. Os autores afirmam que as ações de drenagem urbana normalmente são direcionadas por análises de custo-benefício, amparados na pesquisa de critérios e com pouca atenção voltada aos sistemas de apoio à decisão e aos agentes envolvidos. Foi utilizado no trabalho o sistema especialista *MOMA FD*, desenvolvido através de uma parceria entre o *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Ente per Le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente* (ENEA) e o *Centro Studi Idraulica Urbana*(CSDU).

Segundo Artina *et al.* (2005), especialistas foram consultados por meio de fóruns e entrevistas para caracterizar o *MOMA FD*, que analisa a confiabilidade dos sistema de drenagem urbana e seu desempenho considerando aspectos ambientais, técnicos e econômicos. Para utilização do *software* é necessário, primeiramente, identificar o objeto de estudo (centro urbano, rede de drenagem, rede de esgoto, tratamento de esgoto e corpo receptor); em seguida, o programa acessa um banco de dados e propõe alternativas, considerando a relação custo-benefício produzida e as informações geográficas e de magnitude. Por fim, são propostas modificações que possam produzir melhoras no desempenho. O programa quantifica o desempenho do sistema de drenagem urbana em função do impacto ambiental produzido. Na análise, são utilizados indicadores técnicos (estrutural e hidráulico), gerenciais (operação e manutenção), ambientais e de confiabilidade de dados (baseado na quantidade de informação em falta). Todos esses indicadores variam entre 0 (zero) e 1 (um).

Ellis *et al.* (2006) apresentam um projeto desenvolvido por parcerias entre diferentes países da União Européia, batizado de *DayWater*, que possui como propósito dar suporte aos agentes envolvidos na negociação e desenvolvimento de soluções sustentáveis para o problema referente ao controle e tratamento de águas pluviais urbanas.

A metodologia proposta por Ellis *et al.* (2006) baseia-se na identificação das alternativas compensatórias de drenagem urbana que sejam viáveis para cada caso específico. O modelo é basicamente composto por uma entrada de dados do usuário que define os valores e pesos dos indicadores envolvidos que em seguida, processa a seleção de alternativa. O programa utiliza aspectos de localização (morfologia), técnicos, ambientais,

econômicos, legais, de operação e manutenção, sociais, de benefícios urbanos para comunidade e de planejamento urbano. A aplicação da metodologia proposta apresenta-se como uma ferramenta de negociação entre os agentes decisores na drenagem urbana, pois permite a variação dos valores dos indicadores e dos pesos dos critérios. Em suma, o modelo não evidencia necessariamente a melhor solução, mas sim a solução mais adequada para o atendimento da preferência de determinado grupo ou agente envolvido.

No Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH) da Universidade de Brasília, Brito (2006) desenvolveu sua dissertação de mestrado com o objetivo de propor uma metodologia para seleção de alternativas de drenagem urbana amparada em critérios hidráulicos, hidrológicos, econômicos e sociais, entre outros.

Para alcançar o objetivo proposto, Brito (2006) permeia a compilação de critérios utilizados na concepção e avaliação de sistemas de drenagem, a proposição de indicadores que permitam avaliar alternativas de sistemas de drenagem e a aplicação da metodologia a um estudo de caso. Foi utilizado o método de *Programação de Compromisso*. A escolha foi baseada na facilidade de aplicação do método e na disponibilidade de recursos para utilização do mesmo. De acordo com os resultados obtidos no trabalho, a autora concluiu que os indicadores podem ser ferramentas de bastante utilidade nos processos de tomada de decisão que envolvem drenagem urbana. Recomenda-se que sejam feitos estudos aprofundados no que se refere à qualidade das águas pluviais e estudos que clarifiquem a influência dos pesos dos critérios nos resultados finais das simulações.

No *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Division Eau et Environnement, Bouguenais Cedex* e no *Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Bordeaux*, na França, Martin *et al.* (2007) abordam o problema da seleção de técnicas compensatórias de drenagem urbana (BMP) utilizando o método *ELECTRE III*.

A escolha do método ELECTRE III justifica-se devido à sua possibilidade de diálogo entre os agentes envolvidos, à ponderação dos critérios e à possibilidade de identificar critérios que não sejam relevantes, entre outros. Segundo Martin *et al.* (2007), as BMP devem atender dois objetivos principais: a prevenção e o controle de inundações e, também, os aspectos sanitários associados à poluição das águas pluviais.

A Tabela 5.3 apresenta os resultados de uma pesquisa aplicada por Martin *et al.*, (2007), que justifica a utilização ou não de técnicas compensatórias. Foram recebidos aproximadamente 100 questionários válidos, o que correspondeu a 19% dos questionários enviados. Dos questionários respondidos, 70% foram de agentes participantes de órgãos dos governos locais, 22% de autoridades do serviço público e 8% de profissionais liberais. A pesquisa constatou que dos entrevistados, 87% já haviam tido alguma experiência com a utilização de técnicas compensatórias. Os valores de frequência apresentados na tabela correspondem à ordem de importância atribuída pelos pesquisados para justificar a utilização e a não-utilização das *BMP*. A prevenção de inundações foi citada como a razão mais importante para utilização das *BMP* por 78,2% dos entrevistados, por exemplo.

Tabela 5.3. Razões que justificam o uso e o não uso das *BMP*s

Razões que justificam o uso de <i>BMP</i>	Frequência (%)
<i>Prevenção de Inundações (1ª)</i>	78,2
<i>Prevenção de poluição das águas (2ª)</i>	27,6
<i>Melhoria nas condições ambientais e de bem-estar (social) (3ª)</i>	10,3
<i>Gerência e gerenciamento (4ª)</i>	10,3
<i>Aspectos econômicos (5ª)</i>	4,6
Razões que justificam o não-uso de <i>BMP</i>	Frequência (%)
<i>Adequação a rede de esgotos convencional (1ª)</i>	28,0
<i>Falta de Adaptabilidade ao meio físico (2ª)</i>	17,0
<i>Falta de informação (3ª)</i>	17,0
<i>Problemas de operação e manutenção (4ª)</i>	11,0
<i>Falta de consulta aos agentes envolvidos (5ª)</i>	11,0
<i>Outras razões (6ª)</i>	11,0
<i>Complexidade técnica (7ª)</i>	6,0

Fonte: Martin *et al.*, 2007.

Seguindo a mesma estrutura decisória utilizada por trabalhos anteriores (Azzout *et al.* 1995; Barraud *et al.*, 1999 e Baptista *et al.* 2005), Martin *et al.* (2007) trabalham com a análise do problema em uma fase eliminatória e outra classificatória. Os critérios avaliados para as *BMP* foram técnicos, hidráulicos, ambientais, sociais, de planejamento, econômicos e de manutenção e operação.

De acordo com Martin *et al.* (2007), o trabalho desenvolveu uma simulação teórica, na qual se esperava não necessariamente a definição da melhor alternativa, mas sim a que

atendesse de forma mais adequada à realidade local. Os pesos dos critérios estabelecidos foram adotados segundo a determinação de três grupos de agentes envolvidos: engenheiros de agências locais, com objetivos focados na minimização dos custos; corpo de planejamento regional, com objetivo centrado na sustentabilidade do ambiente urbano e; associações de moradores, que objetivavam basicamente a redução de impactos ambientais. Apesar dos pesos diferentes atribuídos pelos grupos de agentes, os resultados da seleção foram semelhantes. A Tabela 5.4 apresenta os trabalhos revisados com os respectivos títulos e anos de publicação.

Tabela 5.4. Resumo dos trabalhos revisados com aplicação de métodos multicritério e multiobjetivo à drenagem urbana

AUTORES	TÍTULO	ANO DE PUBLICAÇÃO
Azzout et al.	<i>Decision aids for alternative techniques in urban storm management</i>	1995
Barraud et al.	<i>Selection aid of alternative techniques in urban storm drainage – proposition of an expert system</i>	1999
Milograna	<i>Estudo de Medidas de Controle de Cheias em Ambientes Urbanos</i>	2001
Castro et al.	<i>Análise multicritério para a avaliação de sistemas de drenagem urbana – proposição de indicadores e de sistemática de estudo</i>	2004
Moura	<i>Contribuição para avaliação global de sistemas de drenagem urbana</i>	2004
Baptista et al.	<i>Performance-costs evaluation for urban storm drainage</i>	2005
Artina et al.	<i>Performance indicators for the efficiency analysis of urban drainage systems</i>	2005
Moura et al.	<i>Comparison between two methodologies for urban drainage decision aid</i>	2006
Ellis et al.	<i>The DayWater decision support approach to the selection of sustainable systems: A multi-criteria methodology for BMP decision makers</i>	2006
Brito	<i>Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem</i>	2006
Martin et al.	<i>Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for Best management practices</i>	2007

6. IDENTIFICAÇÃO E SELEÇÃO DOS OBJETIVOS E CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

O ponto de partida para a solução de um problema deve ser a definição e compreensão correta dos objetivos. Nas pesquisas apresentadas nos tópicos anteriores, percebe-se o quão importante é identificar e atender os objetivos para o sucesso na tomada de decisão.

Na drenagem urbana, alguns objetivos são primordiais, como a proteção e o controle de inundação e a redução da poluição das águas pluviais, no entanto, vários outros podem ser identificados à medida que se considere os diversos agentes que se relacionam com a drenagem urbana, e possuem diferentes pontos de vista.

Os agentes a serem considerados são em muitos trabalhos ponto de discussão, alguns trabalhos afirmam que é importante ouvir todos os envolvidos, sejam eles capacitados ou não tecnicamente; outros defendem somente a consulta a especialistas, com conhecimento comprovado na área pesquisada. Dentre os principais atores envolvidos na temática da drenagem urbana, destacam-se: os integrantes de órgãos ambientais, gestores municipais, projetistas e consultores, pesquisadores, população afetada, autoridades políticas e judiciais, entre outros. Nos trabalhos de Martin *et al.* (2007), Ellis *et al.* (2006), Artina *et al.* (2005) é possível identificar a importância dos atores considerados na discussão da drenagem urbana .

Brostel (2002) realizou um levantamento dos objetivos e expectativas dos diferentes agentes associados às ETEs, para proceder a uma avaliação de desempenho. Foram considerados inclusive os empregados que atuavam nas estações de tratamento de esgoto, fundamentais no desempenho operacional do sistema. Além destes, Brostel (2002) cogita a possibilidade de se considerar a geração futura que será afetada pela definição dos critérios e objetivos.

Por meio de pesquisa bibliográfica, foi possível identificar uma grande semelhança entre esses objetivos e expectativas associados, também, à avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. Assim, com base no levantamento feito por Brostel (2002) e na

revisão bibliográfica de outras pesquisas, foi possível enumerar os objetivos e expectativas dos diferentes atores associados à drenagem urbana (Tabela 6.1).

Tabela 6.1. Objetivos e expectativas associados à drenagem urbana segundo os atores envolvidos

ATORES	EXPECTATIVAS E OBJETIVOS A SEREM ALCANÇADOS
Empresa Gestora	<ul style="list-style-type: none"> - Cumprir as exigências legais - Manter uma gestão competente - Ser informado sobre os problemas iminentes - Minimizar a publicidade negativa - Garantir responsabilidade Técnica e Financeira
Órgãos Ambientais Fiscalizadores e Reguladores	<ul style="list-style-type: none"> - Cumprir as exigências legais ambientais - Garantir condições ambientais adequadas - Minimizar impactos - Maximizar confiabilidade operacional - Fornecer dados precisos
Órgãos Financiadores	<ul style="list-style-type: none"> - Manter equipe competente - Garantir aplicação eficiente de recursos financeiros - Promover o desenvolvimento social da região - Atender níveis de desempenho estabelecidos
Administração (Governo Local)	<ul style="list-style-type: none"> - Manter uma gestão competente - Garantir responsabilidade financeira - Melhor atendimento ao consumidor - Manter dados precisos - Ter capacidade de crescimento (desenvolvimento) - Promover o desenvolvimento social da região - Manter condições seguras de trabalho
Consumidores, comunidade e associações não-governamentais	<ul style="list-style-type: none"> - Minimizar impactos - Maximizar usos do corpo receptor - Melhorar atendimento (informações, cortesia, acessibilidade) - Fornecer, periodicamente, informações e dados precisos - Maximizar a prática da sustentabilidade ambiental - Maior envolvimento e participação na sociedade
Empregados	<ul style="list-style-type: none"> - Maximizar flexibilidade e simplicidade operacional - Garantir condições adequadas e seguras de trabalho - Geração de empregos

Fonte: Brostel, 2002; Martin *et al.*, 2007; Ellis *et al.*, 2006; Moura, 2004 e Castro, 2007.

Alguns objetivos e expectativas são citados por diferentes agentes, o que revela a necessidade de especial atenção sobre os mesmos, como é o caso da prevenção e controle de inundações e a promoção do desenvolvimento social da região. Outros objetivos se confundem com consequências da aplicação adequada dos sistemas de drenagem urbana, como minimizar a publicidade negativa e promover maior envolvimento e participação da sociedade.

Por meio de pesquisa e revisão bibliográfica, fez-se uma seleção e adaptação preliminar de alguns desses objetivos, para que fossem considerados na avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. Foi dada preferência aos objetivos mais frequentes nos trabalhos consultados de drenagem urbana, e que contemplassem boa parte das expectativas dos agentes. Percebe-se que um número muito grande de objetivos e critérios, normalmente, acentua a subjetividade dos sistemas de auxílio à decisão.

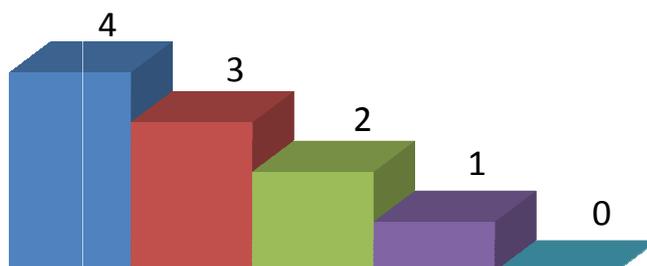
A Tabela 6.2 enumera os objetivos pré-selecionados e os critérios que deverão ser aprofundados para que possam ser utilizados na avaliação do atendimento dos objetivos esperados para a drenagem urbana. Esses critérios serão submetidos à avaliação de especialistas, para que se certifique a importância e a necessidade de utilização dos mesmos.

Tabela 6.2. Objetivos e critérios pré-selecionados para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana

OBJETIVO	CRITÉRIOS IDENTIFICADOS PARA AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO DO OBJETIVO
1. Cumprir Exigências Legais	Atendimento a legislação ambiental
2. Minimizar riscos de inundações urbanas	Alteração do meio físico
	Variação na vazão de pico
	Variação produzida no tempo até o pico de vazão
	Tempo de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto
3. Minimizar impactos ambientais	Confiabilidade
	Controle de poluição das águas pluviais urbanas
	Diversidade de habitats
	Impacto paisagístico
4. Garantir o bem-estar da sociedade	Aumento/diminuição de áreas verdes
	Controle sobre a proliferação de insetos
	Criação de áreas de lazer
5. Aplicar eficientemente recursos financeiros	Necessidade de intervenção na propriedade privada
	Custos de implantação
6. Promover Sustentabilidade	Custos de manutenção e operação
	Uso de princípios e práticas sustentáveis
	Possibilidade de recuperação/reutilização das águas pluviais urbanas

6.1. CONSULTA A ESPECIALISTAS

A etapa de consulta aos especialistas na área de drenagem urbana teve início com o desenvolvimento de um questionário que apresentava inicialmente a proposta do trabalho; em seguida eram descritos os objetivos e critérios pré-selecionados para avaliação de sistemas de drenagem com base na bibliografia, para que tivessem sua importância avaliada segundo a escala de valores descrita a seguir:



■ Indispensável ■ Muito Importante ■ Importante ■ Pouco Importante ■ Dispensável

Por fim, era possível sugerir a inclusão ou exclusão de algum critério ou objetivo assim como eventuais correções e modificações nos propostos. O formulário de pesquisa aplicado, bem como a relação dos especialistas que responderam-no, encontra-se no Apêndice A.

A definição dos especialistas que deveriam ser consultados foi feita a partir da sugestão de professores e pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da UnB. O formulário de pesquisa foi enviado a 22 (vinte e dois) especialistas, dentre os quais constavam pesquisadores, consultores e projetistas. Destes, 16 (dezesseis) encaminharam respostas, o que correspondeu a 72,73% de participação. O prazo de envio de resposta foi variável, mas todas foram recebidas em um período aproximado de 45 (quarenta e cinco) dias.

As notas atribuídas a cada objetivo e a cada critério pré-selecionados pelos especialistas são apresentadas na Tabela 6.3. É importante ressaltar que, por uma questão de sigilo, não há correspondência direta entre as avaliações individuais de cada especialista e a lista dos participantes. Na Tabela os resultados das avaliações estão em ordem de recebimento dos formulários enquanto que a lista dos especialistas (Apêndice A) está em ordem alfabética.

Tabela 6.3. Avaliação dos objetivos e critérios pré-selecionados pelos especialistas

OBJETIVO	NOTAS																MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16				
1. Cumprir exigências legais	3	3	2	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	2	2	4	2	3,25	0,775
2. Minimizar riscos de inundações urbanas	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3,88	0,342
3. Minimizar impactos ambientais	4	4	3	3	3	3	4	3	2	3	2	3	4	3	3	3	4	2	3,13	0,619
4. Garantir o bem-estar da sociedade	3	4	3	3	3		3	3	2	4	2	2	3	3	3	3	4	2	2,93	0,594
5. Aplicar eficientemente recursos financeiros	3	3	2	2	2	3	3	3	2	3	2	4	2	3	4	3	4	2	2,75	0,683
6. Promover sustentabilidade	3	4	3	4	2	4	3	3	2	3	1	2	3	3	4	4	4	1	3,00	0,894
CRITÉRIOS																				
1.1. Atendimento a legislação ambiental	4	3	2	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	2	3,56	0,629
2.1. Alteração do meio físico	4	3	4	1	4	3	3	3	2	3	1	1	4	3	3	2	4	1	2,75	1,065
2.2. Variação na vazão de pico	4	4	4	2	4	3	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	2	3,69	0,602
2.3. Variação produzida no tempo até o pico de vazão	3	3	3	3	3	-	4	3	0	3	2	2	4	3	3	3	4	0	2,80	0,941
2.4. Tempo de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto	3	3	4	3	4	2	3	4	2	3	4	2	4	2	4	3	4	2	3,13	0,806
2.5. Confiabilidade	3	3	3	4	2	4	3	4	3	3	-	3	2	3	4	3	4	2	3,13	0,640
3.1. Controle de poluição das águas pluviais urbanas	4	3	4	3	3	4	4	4	2	4	3	4	4	2	4	3	4	2	3,44	0,727
3.2. Diversidade de habitats	2	2	2	3	3	4	3	2	1	3	1	2	1	3	3	2	4	1	2,31	0,873
3.3. Impacto paisagístico	2	2	3	2	2	4	2	3	2	2	2	2	2	3	4	2	4	2	2,44	0,727
3.4. Aumento/diminuição de áreas verdes	3	3	3	2	2	3	3	2	2	3	2	4	3	3	4	3	4	2	2,81	0,655
4.1. Controle sobre a proliferação de insetos	2	2	3	3	3	4	3	3	2	4	2	3	3	2	2	2	4	2	2,69	0,704
4.2. Criação de áreas de preservação e de lazer	2	3	3	3	2	4	3	3	2	4	3	2	2	3	3	2	4	2	2,75	0,683
4.3. Necessidade de intervenção na propriedade privada	3	2	4	1	4	4	2	3	3	4	2	3	2	4	1	2	4	1	2,75	1,065
5.1. Custos de implantação	3	2	2	2	3	1	4	3	2	3	2	4	2	3	4	3	4	1	2,69	0,873
5.2. Custos de manutenção e operação	4	3	3	2	3	4	4	3	2	3	3	4	2	3	4	4	4	2	3,19	0,750
6.1. Uso de princípios e práticas sustentáveis	3	3	3	4	3	2	4	4	2	3	2	4	2	3	4	3	4	2	3,06	0,772
6.2. Possibilidade de recuperação/reutilização das águas pluviais urbanas	2	4	3	2	2	4	3	2	2	2	1	2	2	3	3	3	4	1	2,50	0,816

Observando a Tabela 6.3 é possível perceber que somente o objetivo de promoção da sustentabilidade teve nota igual a 1(um), atribuída por somente um especialista, todos os demais objetivos tiveram nota mínima pelo menos igual a 2 (dois), segundo a avaliação de todos os especialistas. Esses valores confirmam a importância dos objetivos pré-selecionados. Com relação aos critérios, a menor nota atribuída por um dos especialistas foi 0 (zero) para o critério de variação produzida no tempo até o pico de vazão. Outros critérios tiveram nota mínima igual a 1 (um). Contudo, a pesquisa indica que a maioria dos critérios devem ser considerados importantes.

Os resultados obtidos por meio da avaliação dos especialistas para os objetivos são apresentados graficamente na Figura 6.1.

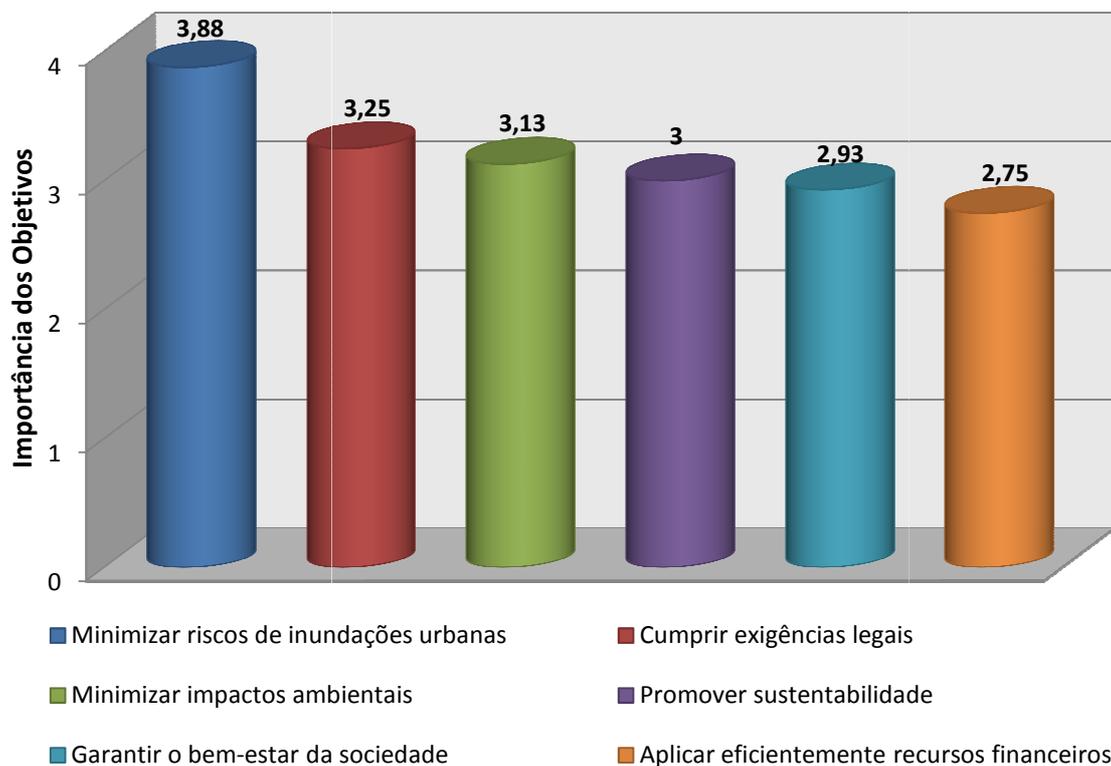


Figura 6.1. Avaliação dos objetivos segundo os especialistas

A avaliação dos especialistas foi positiva com relação aos objetivos esperados pelo desenvolvimento e implantação de sistema de drenagem urbana. Observou-se que o objetivo considerado mais importante, segundo os especialistas é a minimização dos riscos de inundações urbanas. Este objetivo teve 14 (quatorze) avaliações em 16 (dezesesseis) com

nota máxima. O objetivo com menor importância, segundo os especialistas, é o que diz respeito à aplicação de recursos financeiros.

A Figura 6.2 descreve graficamente a avaliação feita pelos especialistas com relação aos critérios para avaliação de sistemas de drenagem urbana.

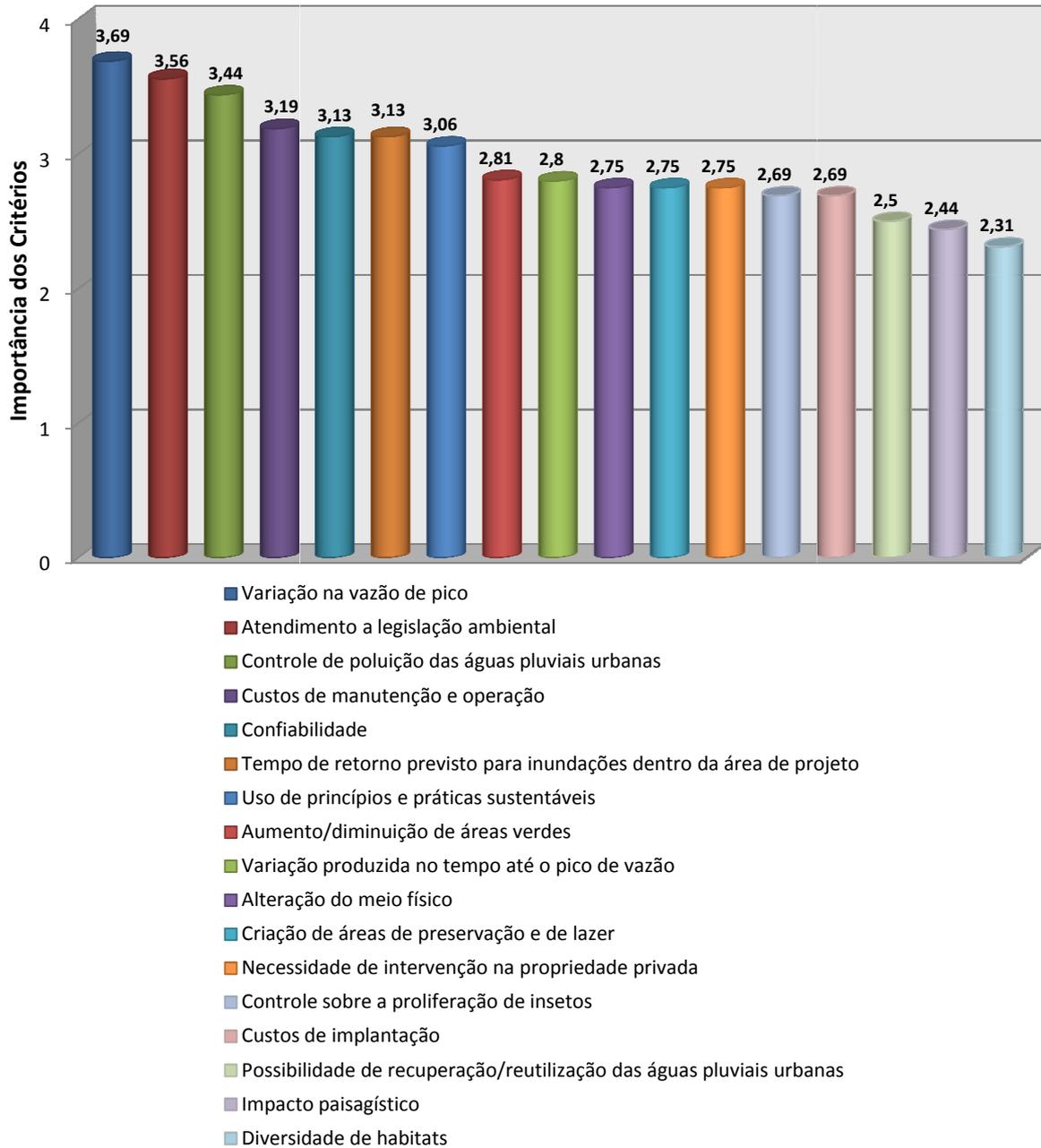


Figura 6.2. Avaliação dos critérios segundo os especialistas

Na avaliação dos critérios, surgiu um número maior de divergências em comparação com a análise dos objetivos, e conseqüentemente uma dificuldade maior de se delimitar

tendências. No entanto, todos os critérios tiveram notas médias acima de 2 (dois), sendo assim considerados importantes. Segundo os especialistas, os critérios mais importantes foram os que tratavam as variações nos picos de vazão, o atendimento a legislação ambiental e o controle de poluição das águas urbanas. Os critérios considerados menos importantes foram os que mediam os impactos na diversidade de *habitats*, os impactos paisagísticos e a possibilidade de reutilização das águas pluviais.

6.1.1. Comentários, Correções e Sugestões

Neste tópico, serão apresentados os principais comentários feitos pelos especialistas, sendo eles importantes para a compreensão adequada dos critérios e objetivos que serão utilizados na pesquisa.

Foi observada pelos especialistas a necessidade de se considerar o ordenamento territorial dos centros urbanos, de forma a compatibilizar virtuais alterações que podem ser produzidas nos dados de vazão. Assim, os projetos de implantação de sistemas de drenagem urbana deveriam prever adaptações que permitissem atender áreas urbanizadas que podem ter vegetação, topografia e usos de solos alterados em função do desenvolvimento urbano, alterando a vazão máxima e o tempo de pico de vazão. Para avaliações de desempenho de projetos em instalação, tal aspecto poderia ser considerado por meio da mensuração da adequabilidade do projeto ao planejamento urbano. Para sistemas já instalados, seria difícil avaliar a adequação do sistema a cenários futuros de ocupação territorial e desenvolvimento urbano.

Outro ponto destacado, diz respeito à criação de áreas de preservação. Observou-se que as áreas de preservação são criadas pelo governo, por meio de leis específicas. Dessa maneira, a avaliação utilizando a criação ou supressão de áreas de preservação estaria limitada e descontextualizada. Assim, o critério referente à criação de áreas de preservação poderia ser adaptado para algum critério que fizesse referência à promoção ambiental, por meio de medidas ambientalmente sustentáveis, como a recuperação de matas ciliares e a recomposição de vegetação nativa.

Um dos especialistas atentou para a especificação de indicadores com eficiência cruzada, como por exemplo, a população afetada em função da área de intervenção, o atendimento

das demandas sociais e técnicas do sistema de drenagem em função do custo por população atendida e a evolução temporal do sistema de drenagem em consonância com o plano diretor da área afetada. Tal aspecto é considerado em alguns critérios. Entretanto, outros critérios são avaliados de forma pontual, à medida que se espera produzir uma avaliação de desempenho que indique o estado do sistema de drenagem avaliado, por meio da obtenção de um diagnóstico.

Na maioria dos critérios, esperam-se utilizar valores absolutos que permitam o seu enquadramento em níveis de desempenho pré-estabelecidos. A utilização de referências cruzadas aumenta a complexidade da avaliação e relativiza a análise.

Outra consideração frequente nas análises dos especialistas, foi a preocupação com a sobreposição de critérios. Alguns critérios com escopo semelhante deveriam ser revistos e agrupados, para que determinados aspectos não fossem supervalorizados. Os mais citados foram os critérios de criação e supressão de áreas de preservação e lazer associados, e diversidade de *habitats* associados aos critérios de criação de áreas verdes e impactos paisagísticos.

Considerações acerca da educação ambiental promovida e praticada na localidade da intervenção, também, foram citadas como importantes na avaliação do sistema de drenagem urbana. A participação da população na gestão das águas pluviais urbanas é de fundamental importância para o funcionamento adequado dos sistemas de drenagem urbana, no entanto, essa participação não deve ser vista como parte funcional do sistema avaliado. Logo, sua medida não é considerada na avaliação de desempenho do sistema de drenagem urbana.

Alguns critérios tiveram sua inclusão sugerida. Além disso, foram propostos alguns ajustes em alguns dos critérios existentes. Para sintetizar a análise, os critérios sugeridos por mais de um especialista foram apresentados uma única vez. Além disso, foram propostas adaptações na nomenclatura dos critérios e no detalhamento dos mesmos, essas observações serão consideradas na apresentação final do escopo dos critérios. A Tabela 6.4 mostra um resumo das sugestões propostas.

Tabela 6.4. Sugestões de critérios para avaliação dos sistemas de drenagem urbana – Parte A

CRITÉRIO SUGERIDO	JUSTIFICATIVA DOS ESPECIALISTAS PARA INCLUSÃO	COMENTÁRIO	INCLUSÃO
1	Avaliação da degradação dos corpos receptores	-	NÃO
2	Avaliação dos problemas de odores	-	SIM
3	Avaliação de segurança de tráfego	-	NÃO
4	Avaliação da aceitação social do sistema implantado	-	SIM
5	Avaliação da alteração provocada no volume de escoamento superficial	O critério foi sugerido caso não estivesse incluído no escopo de outros critérios.	NÃO
6	Avaliação de aspectos sanitários de risco e vulnerabilidade no tocante a saúde pública	Tal critério seria conveniente para avaliação do bem-estar da sociedade.	SIM

Tabela 6.4. Sugestões de critérios para avaliação dos sistemas de drenagem urbana – Parte B

	CRITÉRIO SUGERIDO	JUSTIFICATIVA DOS ESPECIALISTAS PARA INCLUSÃO	COMENTÁRIO	INCLUSÃO
7	Avaliação do atendimento legal de uso de solo e posturas municipais	O critério referente ao atendimento da legislação ambiental deveria ser ampliado para outras dimensões legais.	<i>O atendimento a legislação deve ser integral. As considerações referentes a uso de solo e posturas municipais orientam e certificam a aplicação dos sistemas de drenagem urbana.</i>	SIM
8	Avaliação da infiltração das águas pluviais	As técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem consideram o aumento do potencial de infiltração das áreas, como forma de redução das vazões escoadas.	<i>Essa avaliação deverá ocorrer por meio da avaliação na variação de vazão. Alternativas que contemplem sistemas de infiltração certamente serão mais vantajosas segundo esse critério. Assim, a inclusão de um critério específico para essa análise pode possibilitar uma redundância na avaliação.</i>	NÃO
9	Escalonamento dos objetivos ao longo do tempo	Priorizar a sustentabilidade da redução da vazão de pico envolve recursos elevados (técnicos, tecnológicos, humanos), o que pode inviabilizar a implantação do sistema. Assim, a busca de metas progressivas de atendimento aos critérios, calcadas em parcerias ao longo do tempo, podem conferir sustentabilidade e operacionalidade ao sistema.	<i>Tal critério deverá ser incluído na avaliação, em função da justificativa apresentada pelo especialista.</i>	SIM
10	Avaliação dos objetivos gerais dos Planos Estaduais de Recursos Hídricos, Planejamento Urbano e de Infra-Estrutura	A drenagem urbana é parte integrante do Sistema Urbano (usando o conceito de análise sistêmica, i.e., sistema: conjunto de partes que funcionam de modo integrado, de forma harmônica, guardando entre si relações de interdependência).	<i>O atendimento aos objetivos gerais dos Planos Estaduais de Recursos Hídricos, Planejamento Urbano e Infra-Estrutura deverá ser garantido pelo atendimento da legislação local.</i>	NÃO
11	Avaliação da possibilidade de monitoramento da água por meio de indicadores de poluição	-	<i>Tal critério deverá ser incluído na avaliação por se considerar que o monitoramento da qualidade da água permite um aperfeiçoamento nos sistemas de drenagem urbana.</i>	SIM

Os critérios levantados, preliminarmente, foram revistos e adequados de acordo com a reflexão proporcionada pela consulta aos especialistas.

Para que se pudesse proceder à avaliação segundo pontos de vista distintos, os critérios foram agrupados em dimensões de avaliação, obtidas a partir dos objetivos selecionados. O objetivo referente ao cumprimento das exigências legais originou a *Dimensão Legal*. A *Dimensão Econômica* foi originada pelo objetivo que visava aplicar eficientemente os recursos financeiros. A garantia do bem-estar da sociedade deu origem à *Dimensão Social*. O objetivo que visava reduzir os impactos ambientais delimitou a *Dimensão Ambiental*. A promoção da sustentabilidade permitiu a obtenção da *Dimensão de Práticas Sustentáveis* e, por fim, a minimização dos riscos de inundações urbanas contemplou a *Dimensão Técnica*.

Essas dimensões têm como finalidade possibilitar ao analista detectar os pontos positivos do sistema, assim como suas vulnerabilidades. A Tabela 6.5 apresenta o enquadramento dos critérios, segundo as 6 (seis) dimensões estabelecidas.

Tabela 6.5. Enquadramento dos critérios segundo as dimensões de avaliação

DIMENSÃO	CRITÉRIO
Legal	- <i>Atendimento a legislação</i>
Econômica	- <i>Índice de Custos</i>
Social	- <i>Necessidade de intervenção na propriedade privada</i> - <i>Aceitação social do sistema de drenagem urbana</i> - <i>Risco e vulnerabilidade à saúde pública</i>
Ambiental	- <i>Controle de poluição das águas pluviais urbanas</i> - <i>Controle sobre a proliferação de insetos</i> - <i>Problemas de odores</i> - <i>Possibilidade de utilização das águas pluviais urbanas</i>
De Práticas Sustentáveis	- <i>Uso de Princípios e Práticas Sustentáveis</i> - <i>Escalonamento dos objetivos ao longo do tempo</i> - <i>Possibilidade de Monitoramento da Qualidade das Águas Pluviais Urbanas</i>
Técnica	- <i>Alterações no meio Físico</i> - <i>Alterações na Vazão de Pico</i> - <i>Tempo de Retorno de Projeto</i> - <i>Confiabilidade</i>

6.2. DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS

Segundo Goicoechea *et al.* (1982), em problemas que envolvem decisão, a determinação dos pesos pode ser feita por meio de duas abordagens: uma proveniente do analista, na qual se simula o julgamento do decisor, e outra, advinda do usuário, na qual os valores dos pesos são obtidos diretamente do agente decisor. O objetivo dessa segunda abordagem é medir que avaliações de alternativas estão consistentes e racionais (Brostel, 2002).

Sobre a teoria do comportamento racional em grupos, duas formas de abordagem podem ser destacadas: a Teoria dos Jogos e a Ética. A primeira considera que os indivíduos do grupo estão empenhados em alcançar os próprios interesses e valores pessoais e a solução do problema é obtida através da maximização da utilidade individual. A abordagem da Ética considera que o grupo preza o interesse coletivo, sendo a solução obtida pela maximização da utilidade esperada do grupo (Goicoechea *et al.*, 1982). Alguns métodos de decisão em grupo estão descritos a seguir.

6.2.1. Métodos baseados na Teoria dos Jogos

Consideram a participação das pessoas e a comunicação entre elas, como forma de se obter acordos. Pressupõe-se que os *jogadores*, os participantes do jogo, possuem um senso racional e busquem maximizar seus resultados. O vetor de resultados representa os ganhos de cada jogador. Admite-se que as utilidades podem ser transferíveis entre os jogadores, sem que o vetor resultante mude de valor (Almeida, 2006).

6.2.2. Métodos baseados na Ética

Dentre os métodos baseados na Ética, o Método da Comparação Interpessoal Explícita de Preferências e o Método da utilidade do Grupo caracterizam-se por um maior rigor teórico, e são fundamentados na determinação de uma função de utilidade do grupo, como uma resultante das funções de utilidade de cada indivíduo do grupo ou da determinação de uma função de utilidade do grupo. A Técnica do Grupo Nominal (TGN) e a Técnica Delphi prescindem desse rigor, e possuem a vantagem da praticidade operacional.

Técnica do Grupo Nominal

A TGN é recomendada para pequenos grupos (5 a 9 pessoas), nos quais a tomada de decisão é complexa e se pretende que a decisão do grupo seja decorrente da agregação das preferências individuais dos participantes (Cassiani e Rodrigues, 1996). Uma vantagem considerável dessa técnica é o tempo esperado para se desenvolver o processo, entre 60 e 90 minutos. Contudo, para que o tempo se processe assim, é necessária a presença de todos os participantes do grupo, o que se torna uma desvantagem devido à dificuldade de se reunir todos os envolvidos na decisão. A Figura 6.3 caracteriza as fases de implementação da Técnica do Grupo Nominal.

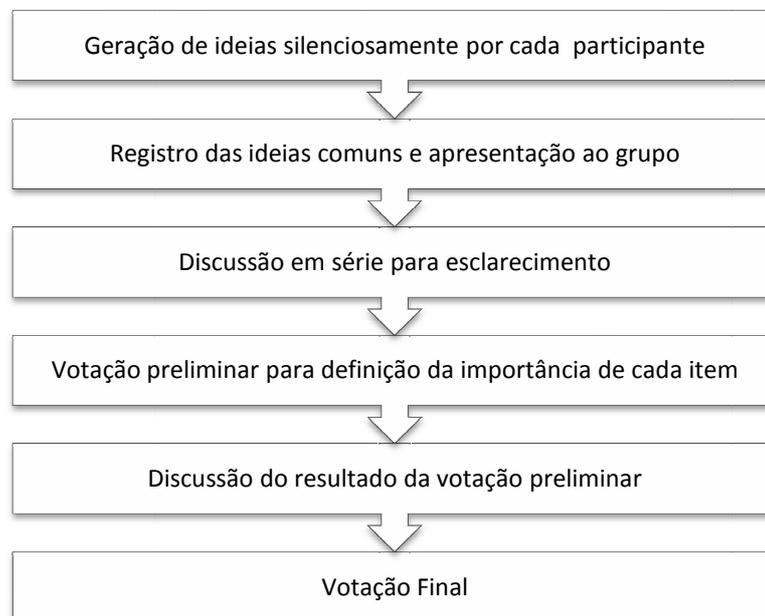


Figura 6.3. Fases de Implementação da TGN

Técnica Delphi

Essa técnica é recomendável para situações semelhantes às recomendadas para a TGN, no entanto, permite a participação de grupos grandes e pequenos. O método baseia-se em respostas escritas, podendo se desenvolver por um prazo de 6 (seis) semanas ou mais, o que representa uma desvantagem. Na implementação da Técnica Delphi, é prevista a participação de 3 (três) grupos: os decisores (utilizam os resultados da análise Delphi), o profissional responsável pela implementação da técnica e os especialistas (grupo que

responde aos questionários). A Figura 6.4 descreve as etapas previstas da implementação da Técnica Delphi.

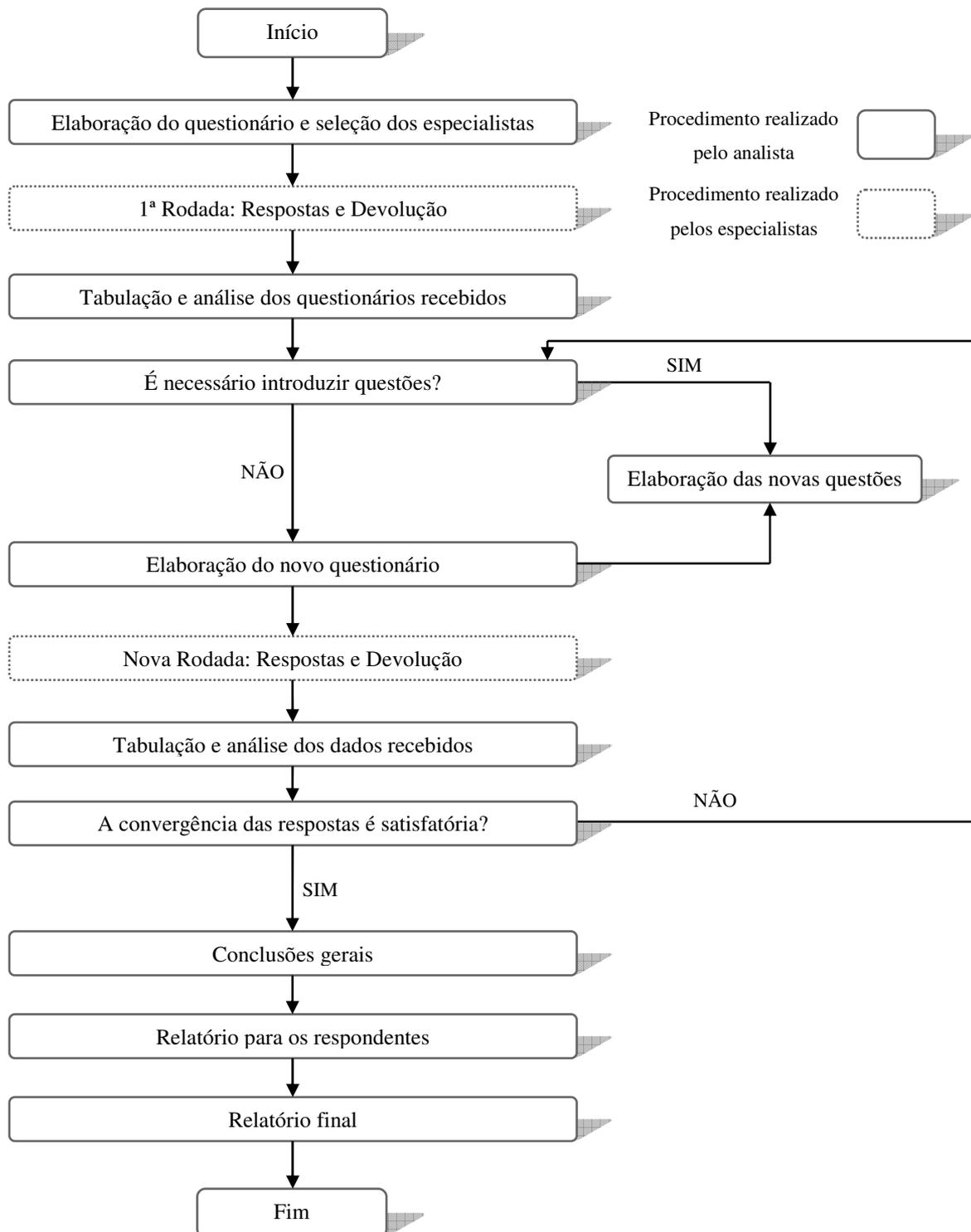


Figura 6.4. Etapas para implementação da Técnica Delphi (Wright e Giovinazzo, 2000)

Alguns trabalhos que discutiram a definição de pesos em métodos de auxílio à decisão, são apresentados a seguir como forma de subsidiar a escolha sobre que forma proceder na escolha dos pesos para o presente trabalho.

Generino (1999) definiu o peso dos critérios de avaliação selecionados para a sua metodologia multicritério de auditorias ambientais, através da experiência dos próprios auditores que compunham a equipe de avaliação.

Harada (1999) avaliou a possibilidade de se utilizar a matriz de comparação par a par e o método *tradeoff weighting* para definição dos pesos em um problema de seleção de sistemas de esgotamento sanitário. O autor constatou a dificuldade de utilização dessas técnicas, face à complexidade e à pouca praticidade no estabelecimento da relação de pesos, o que exigia um grande esforço e um nível considerável de conhecimento dos participantes da decisão.

Devido a essa dificuldade, Harada (1999) optou por uma abordagem baseada em informações diretas, utilizando valores de 0 (zero) a 10 (dez), e dando um tratamento posterior aos valores dados pelos participantes para a obtenção do valor de consenso. Para o tratamento dos valores obtidos foi utilizada a técnica *OWA – Ordered Weighted Averaging*, que prevê a adoção do máximo valor atribuído a um critério como o valor de consenso, o que, no caso específico, foi substituído por um valor de 80% do valor máximo dado ao critério, devido às dificuldades existentes provenientes da falta de consenso e de um grande número de critérios com valoração máxima, valores provavelmente decorrentes da grande variedade de pontos de vista dos participantes da pesquisa.

Silva (2001) fez uso da TGN para avaliar a proposta de indicadores de contaminação ambiental, no que tange a disposição final de resíduos sólidos e serviços de saúde. O procedimento foi dividido em 3 (três) etapas, e contou com a participação de 2 (duas) equipes de especialistas multidisciplinares, cada uma dessas equipes conduziu uma das etapas iniciais e as duas participaram da etapa final. A metodologia permitiu constatar a dificuldade de se reunir os especialistas em número suficiente, essa dificuldade foi contornada com a ampliação da pesquisa bibliográfica. A definição final dos pesos dos critérios foi feita por meio da matriz de valoração.

Mousseau *et al.* (2001) avaliaram a inferência de pesos no método *ELECTRE TRI* por meio de exemplos de alocação e da aplicação de programação linear. A pesquisa demonstrou que esse procedimento de inferência proporcionou uma boa estabilidade do método para alocação das alternativas na categoria correta. Possibilitou, também, detectar inconsistências nas assertivas dos usuários. O número razoável de ações alocadas como exemplo sugerido pelo resultado da pesquisa, para que a inferência de pesos seja confiável, é de duas vezes o número de critérios.

Brostel (2002) utilizou a Técnica Delphi para definição dos pesos dos critérios para avaliação de desempenho de ETEs, valendo-se da premissa de que essa técnica permite uma decisão progressiva, resultando em uma decisão acordada entre os especialistas, além de não haver a necessidade de deslocamento físico dos mesmos. A pesquisa foi feita com diferentes atores participantes: representantes técnicos, comunidade e agentes governamentais. A idéia inicial era proporcionar 3 (três) rodadas de discussão dos valores, embora só tenha sido possível efetuar 2 (duas) devido à dificuldade de obter resposta dos participantes. Os valores dos critérios foram fixados entre 1 (um) e 4 (quatro), representando uma escala de valores na qual pouco importante corresponde a (1), medianamente importante (2), importante (3) e muito importante (4).

Segundo Simos (1990, *apud* Castro, 2007), destacam-se dentre as técnicas de ponderação para avaliar a importância relativa de critérios de análise, as seguintes:

- 1) hierarquização de critérios; os critérios devem ser colocados em categorias pré-definidas: como “*muito importante*”, “*medianamente importante*” e “*pouco importante*”;
- 2) classificação dos critérios do mais importante ao menos importante, de forma ordinal;
- 3) notação: a cada um dos critérios é dada uma nota, de 1 a 10;
- 4) relação de importância: É avaliada a importância dos critérios através da comparação entre eles, dois a dois;
- 5) distribuição de pesos: é definido um valor para a soma dos pesos, que deve ser distribuído entre eles, por exemplo, 10 (dez), 100 (cem), etc.

Castro (2007) em seu trabalho sobre a proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos d’água discute sobre os métodos destacados anteriormente por Simos (1990, *apud* Castro, 2007), e utiliza-se de uma mescla dos

mesmos para definição dos pesos utilizados. Primeiramente, foi solicitado aos especialistas que a soma dos pesos fosse igual a 100 (cem). Essa necessidade de atender um limite fez com que os especialistas comparassem os critérios entre si. Em seguida, os especialistas fizeram observações referentes à metodologia, certificando a pesquisa ou apontando precariedades, consideradas na definição final dos pesos obtidos.

Recentemente, Tervonen *et al.* (2009) apresentaram um novo método de ponderação de pesos, índices e limiares para o *ELECTRE TRI*, baseado na Análise de Aceitabilidade Estocástica Multicritério (*Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis – SMAA*) que recebeu o nome de *SMAA-TRI*. No artigo apresentado, o método é utilizado para determinar os pesos dos critérios por meio de uma análise de robustez, permite que sejam criados intervalos de valores para os pesos e assim, se faz a aceitabilidade dos valores calculados minimizando as diferenças e incertezas associadas à atribuição de pesos por parte dos decisores, normalmente com interesses conflitantes. No caso específico do artigo, o método é utilizado somente na variação dos pesos dos critérios, entretanto, os autores afirmam que a metodologia pode ser utilizada na determinação de outros parâmetros como os limiares de preferência, indiferença e de veto.

7. PROPOSIÇÃO DO PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Neste capítulo, é descrito o procedimento de avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. Primeiramente, são apresentadas as 6 (seis) dimensões de avaliação e os critérios enquadrados em cada uma delas. Na Tabela 7.1 é apresentada a relação dos critérios que serão utilizados na avaliação de desempenho dos sistemas de drenagem urbana, com indicação do seu mecanismo de avaliação e a escala de valores que compreende cada critério. Foram utilizados 2 (dois) procedimentos para avaliação dos critérios: indicadores de desempenho e planilha pontuada. A fundamentação teórica dos tipos e procedimentos de avaliação foi fundamental para que fosse possível utilizar corretamente os indicadores de desempenho e definir o escopo das planilhas de avaliação. Todos os critérios possuem sentido preferencial crescente. A seguir, é descrito o procedimento de avaliação com detalhamento das etapas de aplicação.

Tabela 7.1. Resumo dos critérios selecionados para a avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana

DIMENSÃO	CRITÉRIO	MECANISMO DE AVALIAÇÃO	ESCALA	
			MIN	MAX
Legal	<i>Atendimento a Legislação</i>	<i>Planilha</i>	0	100
Econômica	<i>Índice de Custos</i>	<i>Indicador</i>	0	∞
Social	<i>Necessidade de intervenção na propriedade privada</i>	<i>Indicador</i>	-1	0
	<i>Aceitação Social do Sistema de Drenagem Urbana</i>	<i>Planilha</i>	0	100
	<i>Riscos e Vulnerabilidade à Saúde Pública</i>	<i>Planilha</i>	0	100
Ambiental	<i>Controle de Poluição das Águas Pluviais Urbanas</i>	<i>Indicador</i>	0	1
	<i>Controle sobre a Proliferação de Insetos</i>	<i>Planilha</i>	0	100
	<i>Problemas de Odores</i>	<i>Planilha</i>	0	100
	<i>Possibilidade de Utilização das Águas Pluviais Urbanas</i>	<i>Indicador</i>	0	1
De Práticas Sustentáveis	<i>Uso de Princípios e Práticas Sustentáveis</i>	<i>Planilha</i>	0	100
	<i>Escalonamento dos Objetivos ao longo do tempo</i>	<i>Planilha</i>	0	100
	<i>Possibilidade de Monitoramento da Qualidade das Águas Pluviais Urbanas</i>	<i>Planilha</i>	0	100
Técnica	<i>Alterações no Meio Físico</i>	<i>Indicador</i>	-2	2
	<i>Alterações na Vazão de Pico</i>	<i>Indicador</i>	-2	2
	<i>Tempo de Retorno de Projeto</i>	<i>Indicador</i>	0	1
	<i>Confiabilidade</i>	<i>Planilha</i>	0	100

7.1. DIMENSÃO LEGAL

Nesta dimensão, espera-se avaliar a adequação do sistema de drenagem urbana à legislação vigente. Para tal, será necessária a conferência da existência de Planos Diretores, Leis Federais de Recursos Hídricos, Leis Estaduais, Códigos de Posturas Municipais, entre outros. É importante destacar que o cumprimento das exigências legais é uma obrigatoriedade, logo, a avaliação dessa dimensão indica o quão adequado está o sistema à legislação existente. A dimensão legal, como parte da metodologia proposta, é avaliada pelo critério de atendimento à legislação.

7.1.1. Atendimento à Legislação

Fundamentalmente, ao tratar a drenagem urbana, tem-se como amparo legal a Política Nacional de Recursos Hídricos, descrita pela Lei Federal 9.433/97. Antes dela, o uso de águas no Brasil foi regido pelo Código de Águas de 1934 (Decreto 24.643/1934) que ainda hoje possui parte de seu texto em vigência. Segundo Castro (2007), com exceção de Roraima, todos os outros Estados Brasileiros e o Distrito Federal possuem leis dispendo sobre a política de recursos hídricos, algumas anteriores à Lei 9.433. A Tabela 7.2 apresenta as leis estaduais referentes aos recursos hídricos.

Tabela 7.2. Leis estaduais de recursos hídricos

ESTADO	LEI	ESTADO	LEI
Acre	<i>Lei 1.500/2003</i>	Pará	<i>Lei 6.381/2001</i>
Alagoas	<i>Lei 5.965/1997</i>	Paraíba	<i>Lei 6.308/1996</i>
Amapá	<i>Lei 686/2002</i>	Paraná	<i>Lei 12.726/1999</i>
Amazonas	<i>Lei 2.712/2001</i>	Pernambuco	<i>Lei 11.426/1997</i>
Bahia	<i>Lei 6.855/1995</i>	Piauí	<i>Lei 5.165/2000</i>
Ceará	<i>Lei 11.996/1992</i>	Rio de Janeiro	<i>Lei 3.239/1999</i>
Distrito Federal	<i>Lei 2.725/2001</i>	Rio Grande do Norte	<i>Lei 6.908/1996</i>
Espírito Santo	<i>Lei 5.818/1998</i>	Rio Grande do Sul	<i>Lei 10.350/1994</i>
Goiás	<i>Lei 13.123/1997</i>	Rondônia	<i>Lei Complementar 255/2002</i>
Maranhão	<i>Lei 8.149/2004</i>	Santa Catarina	<i>Lei 9.748/1994</i>
Mato Grosso	<i>Lei 6.945/1997</i>	São Paulo	<i>Lei 7.663/1991</i>
Mato Grosso do Sul	<i>Lei 2.406/2002</i>	Sergipe	<i>Lei 3.595/1995</i>
Minas Gerais	<i>Lei 13.199/1999</i>	Tocantins	<i>Lei 1.307/2002</i>

Fonte: Castro, 2007.

No que se refere aos aspectos administrativos legais ambientais, espera-se que a avaliação seja feita em conformidade com as legislações federais, estaduais e municipais do local de

avaliação do sistema de drenagem urbana. Alguns estados possuem restrições para utilização de medidas de drenagem urbana que alterem o regime ou qualidade das águas pluviais. A legislação do Estado de São Paulo, por exemplo, considera que *“a implantação de qualquer empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, a execução de obras ou serviços que alterem seu regime, qualidade ou quantidade dependerá de prévia manifestação, autorização ou licença dos órgãos e entidades competentes”*.

Em relação ao atendimento dos padrões legais ambientais, destaca-se a importância de observar os padrões de lançamento e os padrões do corpo receptor que irá coletar a água pluvial urbana da bacia estudada. A Resolução 357 do CONAMA estabelece os padrões de lançamento a serem considerados.

Além da legislação ambiental, a avaliação dos sistemas de drenagem urbana deverá considerar o respeito às orientações referentes ao uso do solo, ordenamento territorial urbano, código de posturas do município e plano diretor da localidade que será implantado o sistema de drenagem urbana. A avaliação tem o propósito de compatibilizar o sistema de drenagem ao contexto urbano local, observando a adaptação aos serviços públicos de transporte, limpeza urbana, coleta de esgoto e outros serviços que possam afetar ou serem afetados pela drenagem urbana.

Esse e outros critérios serão avaliados por meio de planilhas pontuadas. Para utilização dessas planilhas, são feitas as seguintes considerações:

- 1) as planilhas de avaliação possuem escala de valores que varia de 0 (zero) a 100 (cem);
- 2) todas as planilhas têm sentido preferencial crescente;
- 3) a coluna da esquerda estão descritos os aspectos que devem ser avaliados. A coluna central apresenta os valores que devem ser atribuídos para o item julgado de acordo com a avaliação do analista e, a coluna da direita deve ser preenchida com o valor escolhido pelo analista;
- 4) a última linha de todas as planilhas deve ser utilizada para totalizar os pontos obtidos pelo sistema de drenagem avaliado.

Os itens que compõem a mensuração deste critério de avaliação são apresentados na planilha pontuada para avaliação do atendimento da legislação (Tabela 7.3). A distribuição dos pontos procurou valorizar o atendimento aos padrões legais existentes, tendo em vista que o não cumprimento dos mesmos, provoca graves efeitos sobre a população e o meio ambiente.

Tabela 7.3. Planilha pontuada para avaliação do atendimento à legislação

LEGISLAÇÃO AMBIENTAL		
Item	Pontuação	Pontos Atribuídos
a) Existe licença ambiental?	0 – Não (desconsidere o item <i>b</i>) 20 – Sim	
b) Cumprimento das exigências e recomendações contidas na licença ambiental	0 – Descumpre 10 – Cumpre parcialmente 20 – Cumpre integralmente	
c) Atendimento dos padrões de lançamentos em corpos receptores, segundo a legislação ambiental (Resolução 357 do CONAMA)	0 – Não Atende 20 - Atende	
LEGISLAÇÃO COMPLEMENTAR		
d) Existe Plano de Águas Pluviais?	0 – Não (desconsidere o item <i>e</i>) 5 – Sim	
e) Cumprimento do plano de ações do plano de águas pluviais	0 – Descumpre 7,5 – Cumpre parcialmente 15 – Cumpre integralmente	
f) Existe Plano Diretor?	0 – Não (desconsidere o item <i>g</i>) 2 – Sim	
g) Adaptação aos sistemas de abastecimento de água, coleta de esgoto e resíduos sólidos	0 – Completamente Desadaptado 2 – Parcialmente desadaptado 4 – Indiferente 6 – Parcialmente adaptado 8 – Completamente adaptado	
h) Existe Código de Posturas Municipais?	0 – Não (desconsidere o item <i>i</i>) 2 – Sim	
i) Adaptação ao ordenamento territorial e ao sistema de tráfego	0 – Completamente Desadaptado 2 – Parcialmente desadaptado 4 – Indiferente 6 – Parcialmente adaptado 8 – Completamente adaptado	
TOTAL	100	

7.2. DIMENSÃO ECONÔMICA

Em muitos processos de decisão, os critérios econômicos são considerados determinantes, inclusive nos processos que envolvem a drenagem urbana. Atualmente, outros aspectos anteriormente desconsiderados vêm sendo utilizados, como os aspectos ambientais e

sociais, o que não diminui a importância dos aspectos econômicos. De forma simplista, pode-se afirmar que os critérios econômicos estão associados aos sistemas de drenagem urbana no que diz respeito aos custos de implantação, manutenção e operação. Algumas das análises descritas no item 3.2.4, sobre avaliação de projetos, como as análise de custo-benefício ou custo-efetividade, poderiam ser utilizadas para avaliação da dimensão econômica, no entanto, os métodos multiobjetivo permitem que os benefícios sejam considerados diretamente e não monetariamente em outras dimensões de avaliação. Assim, a avaliação da dimensão econômica é feita pelo critério de índice de custos, descrito a seguir.

7.2.1. Índice de Custos

A metodologia proposta utiliza os custos levantados por Moura (2004) para diferentes sistemas de drenagem. Os custos foram obtidos junto aos órgãos de serviços públicos de drenagem urbana de Belo Horizonte, no ano de 2003, e o procedimento adotado para sua determinação foi o de composição de custos e complementos da bibliografia técnica internacional.

Na aplicação da metodologia proposta, os valores obtidos por Moura (2004) são atualizados pelo Índice Nacional de Custos na Construção (INCC) calculado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Esse índice afere a evolução dos custos de construções e estão subdivididos em custos residenciais e de obras públicas de engenharia civil ou infraestrutura. O índice é uma estatística contínua, de periodicidade mensal para 18 municípios: Aracaju, Belém, Belo Horizonte, Brasília, Campo Grande, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Goiânia, João Pessoa, Maceió, Manaus, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Paulo e Vitória.

O índice nacional é levantado pela FGV desde Janeiro de 1944. O INCC é um dos três itens que compõem o Índice Geral de Preços (IGP), representando 10% do índice. Para cada aplicação da metodologia proposta, esses valores devem ser atualizados segundo o INCC.

Os critérios econômicos são calculados fazendo o uso do índice de custos proposto por Moura (2004):

$$I_{Ck} = \frac{\sum_{k=1}^n C_k}{C_k} \quad (7.1)$$

Sendo:

I_{Ck} – Índice de custos referente à alternativa k ;

C_k – Custos da Alternativa k ;

n – número total de alternativas.

O indicador de custos para um sistema de drenagem é definido como a soma de 3 (três) parcelas: o custo de implantação e os Valores Presentes Líquidos dos custos de manutenção e de operação. As parcelas dos custos de operação e manutenção são atualizadas para o valor da data de base por meio de uma taxa de desconto, considerando a vida útil do sistema em análise. Moura (2004) recomenda que, para a comparação entre as alternativas de projetos de vidas úteis diferentes, o projeto de vida útil menor será repetido tantas vezes quantas forem necessárias para serem igualadas às vidas úteis dos projetos a serem comparados. De forma que esta análise se torne mais simplificada, sem haver um valor residual, por estas não serem múltiplas, as vidas úteis atribuídas aos sistemas de drenagem estudados foram sempre submúltiplos da vida útil do projeto que a tem maior.

Custos de Implantação

Os custos de implantação de sistemas de drenagem urbana obtidos por Moura (2004), foram baseados nos custos de serviços de Belo Horizonte para Janeiro de 2000. Os valores são apresentados em Reais. Com relação aos custos de implantação apresentados para os pavimentos (CBUQ, de concreto permeável, asfalto permeável, blocos vazados, intertravados e de alvenaria poliédrica), é importante destacar que esses valores correspondem aos sobrecustos comparados com a utilização de pavimentos convencionais. A Tabela 7.4 apresenta os valores obtidos por meio da correção dos valores obtidos por Moura (2004) com base no INCC de junho de 2009. O percentual de correção no período foi de 86,56%.

Tabela 7.4. Síntese dos custos de implantação e vida útil das estruturas

Estrutura	Custo Calculado (R\$)	Vida Útil (anos)
<i>Redes tubulares</i>	Variável	30
<i>Galerias</i>	Variável	30
<i>Canal revestido em concreto</i>	236,13/m ² /m	30
<i>Canal com revestimento vegetal</i>	52,61/m ² /m	30
<i>Canal revestido em enrocamento</i>	68,36/m ² /m	30
<i>Canal em gabião tipo caixa</i>	146,28/m ² /m	30
<i>Canal em gabião tipo colchão</i>	76,58/m ² /m	30
<i>Bacias de retenção gramadas</i>	53,93/m ³	15
<i>Bacias de retenção em concreto</i>	66,58/m ³	30
<i>Bacias de retenção enterradas</i>	223,19/m ³	30
<i>Bacias de Infiltração</i>	42,91/m ³	10
<i>Micro reservatórios de lote</i>	236,13/m ³	30
<i>Pavimentos de CBUQ</i>	0,00/m ²	15
<i>Pavimentos de concreto permeável</i>	49,28/m ²	15
<i>Pavimentos de asfalto permeável</i>	36,14/m ²	15
<i>Pavimentos de blocos vazados</i>	65,41/m ²	15
<i>Pavimentos intertravados</i>	21,90/m ²	15
<i>Pavimentos de alvenaria poliédrica</i>	0,36/m ²	15
<i>Poços</i>	217,12/m ³	15
<i>Trincheiras</i>	99,29/m	10
<i>Valas e Valetas</i>	98,53/m	15
<i>Valas e valetas com canaleta</i>	129,16/m	15

Fonte: Adaptado de Moura, 2004.

Custos de Operação e Manutenção

Os custos de manutenção e operação de sistemas de drenagem urbana obtidos por Moura (2004), assim como os custos de implantação, foram baseados nos custos de serviços de Belo Horizonte, no mês de Janeiro de 2000.

Os custos referentes à manutenção e operação foram obtidos por meio da aplicação do conceito de *Valor Presente Líquido* (VPL) dos custos anuais, corrigidos por uma taxa de desconto que considera a vida útil do sistema de drenagem em análise. A taxa de desconto reflete o risco associado ao grau de incerteza do retorno do investimento e as expectativas inflacionárias, que atua como proteção para as possíveis perdas do poder aquisitivo da moeda. O valor adotado por Moura (2004) para a taxa de desconto foi de 12% ao ano, valor previsto para taxas de juros na Constituição Brasileira de 1988. Segundo Grasel

(1999, *apud* Moura, 2004), o ponto crítico deste método está na decisão de qual taxa de desconto utilizar, mas apesar dessa dificuldade, o VPL é uma das melhores ferramentas gerenciais para se analisar projetos de investimentos.

Os valores corrigidos pelo INCC são apresentados na Tabela 7.5. O percentual de correção no período de Janeiro de 2000 à Junho de 2009 foi o mesmo utilizado para os custos de implantação, de 86,56%.

Tabela 7.5. Síntese dos custos de manutenção e operação e vida útil das estruturas

Estrutura	Custo Calculado (R\$)	Vida Útil (anos)
<i>Redes tubulares</i>	269,67/ metro linear	30
<i>Galerias</i>	79,05/metro linear+0,63/m ²	30
<i>Canal revestido em concreto</i>	5,77/m ²	30
<i>Canal com revestimento vegetal</i>	3,40/m ²	30
<i>Canal revestido em enrocamento</i>	3,67/m ²	30
<i>Canal em gabião tipo caixa</i>	6,98/m ²	30
<i>Canal em gabião tipo colchão</i>	3,84/m ²	30
<i>Bacias de detenção gramadas</i>	354,47/ha+23,43/m ³	15
<i>Bacias de detenção em concreto</i>	354,47/ha+22,56/m ³	30
<i>Bacias de detenção enterradas</i>	354,47/ha+41,35/m ³ +1,74/m ³	30
<i>Bacias de Infiltração</i>	19,91/m ³	10
<i>Micro reservatórios de lote</i>	9,50/m ³	30
<i>Pavimentos de CBUQ</i>	0,00/m ³	15
<i>Pavimentos de concreto permeável</i>	2,69/m ³	15
<i>Pavimentos de asfalto permeável</i>	1,38/m ³	15
<i>Pavimentos de blocos vazados</i>	3,66/m ³	15
<i>Pavimentos intertravados</i>	7,81/m ³	15
<i>Pavimentos de alvenaria poliédrica</i>	5,01/m ³	15
<i>Poços</i>	22,99/unidade	15
<i>Trincheiras</i>	29,89/m	10
<i>Valas e Valetas</i>	19,38/m	15
<i>Valas e valetas com canaleta</i>	19,38/m	15

Fonte: Adaptado de Moura, 2004.

7.3. DIMENSÃO SOCIAL

A utilização de critérios sociais propõe tratar assuntos relacionados ao bem-estar da população afetada pelos sistemas de drenagem urbana. Atualmente, os aspectos sociais têm recebido maior importância nos processos de decisão, a população tem reivindicado o

direito de participação nas diretrizes que possam afetá-la direta ou indiretamente. A criação de comitês de bacia hidrográfica, a discussão do orçamento participativo, e a elaboração dos planos de saneamento básico participativo do Ministério das Cidades, por exemplo, indicam essa mudança. Essa dimensão de avaliação da metodologia proposta utiliza 3 (três) critérios, o primeiro deles referente à necessidade de desapropriação de área, o segundo referente à aceitação social do sistema de drenagem e o terceiro referente aos riscos e vulnerabilidades à saúde pública.

7.3.1. Necessidade de Intervenção na Propriedade Privada (Desapropriação de Áreas)

Para utilização de alguns sistemas de drenagem, pode ser necessária a desapropriação de terras, processo normalmente danoso e com impacto essencialmente negativo na sociedade. Para estimar o impacto produzido por esse tipo de situação, é proposta a utilização de um indicador que aponta a relação entre a área desapropriada e a área ocupada pelo sistema de drenagem urbana, chamado de *indicador de desapropriação* (I_D). Nos casos em que a área desapropriada é maior ou igual à área ocupada pelo sistema, o indicador terá valor mínimo de -1 (menos um), e quando não houver intervenção na propriedade, terá seu valor máximo igual à 0 (zero).

$$-1 \leq I_D = - \left| \frac{A_D}{A_{SDU}} \right| \leq 0 \quad (7.3)$$

Sendo:

A_D - Área total a ser desapropriada para utilização do sistema de drenagem urbana proposto;

A_{SDU} - Área total a ser ocupada pelo sistema de drenagem urbana.

7.3.2. Aceitação Social do Sistema de Drenagem Urbana

A participação da sociedade no processo decisório de qualquer ação que afete a comunidade, tem se mostrado uma ferramenta eficiente na promoção do bem-estar e na satisfação da população. A participação promove o comprometimento, o que permite desenvolver parcerias entre os gestores locais e a comunidade afetada na manutenção adequada do sistema e na otimização do serviço oferecido pela implantação de um sistema de drenagem urbana. Para proceder essa avaliação, será utilizada uma planilha pontuada (Tabela 7.6) que faz considerações à respeito da aceitação social do sistema de drenagem,

avaliando o nível de participação e compreensão da sociedade no manejo das águas pluviais urbanas.

Tabela 7.6. Planilha pontuada para avaliação da aceitação social do sistema de drenagem urbana

ACEITAÇÃO SOCIAL DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA		
Item	Pontuação	Pontos Atribuídos
a) Esfera de participação da sociedade	0 – Nenhuma 10 – Líderes comunitários 20 – Comunidade em geral	
b) Participação no processo decisório ao longo do tempo	0 – Não se aplica 8 – somente após a implantação 15 – Durante a implantação 23 – Desde o período de projeto 30 – Durante todo o processo	
c) O sistema possibilita o envolvimento da comunidade na manutenção e operação do sistema?	0 – Não 20 – Sim	
d) O sistema pode ser adaptado de acordo com as necessidades da comunidade?	0 – Não 10 – Sim, Parcialmente 20 – Sim, Completamente	
e) São previstas orientações à comunidade para convivência adequada com o sistema?	0 – Não 10 – Sim	
TOTAL	100	

7.3.3. Riscos e Vulnerabilidade à Saúde Pública

Segundo Marandola Jr e Hogan (2004) o estudo de risco pode ser realizado e entendido de diferentes maneiras, a partir de diferentes pressupostos ontológicos, envolvendo diferentes posturas metodológicas e aplicações em seu estudo. Esta heterogeneidade, longe de impedir a comunicação entre os campos do saber, representa um cenário rico para diálogo e enriquecimento conceitual. Isto é possível devido à própria natureza dos riscos, que não está circunscrita a uma dimensão da realidade, mas que exprime toda a complexidade da sociedade contemporânea em seus diferentes embates e naturezas.

De maneira geral, a vulnerabilidade pode ser entendida como a exposição a perigo ou dano. São 3 (três) os componentes principais em sua composição: fragilidade; suscetibilidade; e falta de resiliência. Fragilidade é a componente física e ambiental da vulnerabilidade que captura em que medida um grupo populacional é suscetível de ser afetado por um fenômeno perigoso em função de sua localização e sua área de influência

devido à ausência de resistência física à sua propagação. Suscetibilidade é a componente socioeconômica e demográfica que captura a predisposição de um grupo populacional de sofrer danos em face de um fenômeno perigoso. Tal predisposição é decorrente do grau de marginalidade, da segregação social e da fragilidade econômica às quais um determinado grupo populacional se encontra submetido. Falta de resiliência é a componente comportamental, comunitária e política, que captura a incapacidade de um grupo populacional submetido a um fenômeno perigoso de absorver o choque e se adaptar para voltar a um estado aceitável (Braga *et al.*, 2006).

De acordo com o relatório sobre Redução do Risco de Desastres do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP, 2004 *apud* Braga *et al.*, 2006), pode-se entender o risco como sendo o “*número de mortes em um evento de perigo em relação à população total exposta a tal evento*”. Assim, pode-se afirmar que a vulnerabilidade é o que explica o porquê dos diferentes níveis de risco. A Figura 7.1 apresenta os elementos da avaliação do risco.



Figura 7.1. Elementos da avaliação do risco (Kates, 1978)

A capacidade individual, local ou regional de percepção do risco e o gerenciamento adequado deste dependem da característica do risco: suas causas, correlações, frequência e intensidade (Holzmann, 2001).

Os riscos e vulnerabilidades associados à drenagem urbana serão concentrados na observação da ocorrência de doenças. As inundações frequentes são responsáveis por significativos agravos à saúde, à medida que a água escoar sobre superfícies, contaminando-se por resíduos de latrinas, tanques sépticos e redes coletoras de águas residuárias (Kolsky e Butler, 2000).

Uma vez contaminada, a água pode levar a ocorrência de doenças por meio da infiltração na rede de abastecimento de água tratada, pela contaminação do ambiente doméstico seguido da ingestão de patógenos de origem fecal, pela contaminação do corpo e vestimentas de indivíduos que atravessam áreas alagadas, com subsequente condução de patógenos para o ambiente doméstico, pela dispersão de ovos de helmintos no solo e pelo desenvolvimento de criadouros de mosquitos e caramujos transmissores de doenças. Na Tabela 7.7, são apresentadas algumas doenças associadas à carência ou precariedade dos serviços de drenagem urbana identificadas por Souza (2001).

Tabela 7.7. Doenças ligadas à carência ou precariedade dos serviços de drenagem urbana

GRUPO	DOENÇAS
<i>Doenças transmitidas por vetores alados que podem proliferar em empoçamentos e alagadiços</i>	Febre Amarela Urbana
	Dengue
	Filariose
	Malária
<i>Doenças cujo agente etiológico utiliza um hospedeiro aquático intermediário, que pode proliferar em alagadiços</i>	Esquistossomose
<i>Doença transmitida pelo contato direto com água ou solo (sem a presença de hospedeiros) cuja contaminação é favorecida por inundações e alagadiços</i>	Leptospirose
<i>Doenças transmitidas pela ingestão de água contaminada por agentes etiológicos presentes em alagadiços e inundações e que penetram no interior da rede de abastecimento; doenças transmitidas pelo contato direto com solos contaminados por esses agentes</i>	Febre Tifóide (água)
	Cólera e outras diarreias (água)
	Hepatite A (água)
	Ascaridíase (água)
	Tricuríase (água)
	Ancilostomíase (água e solo)

Fonte: Souza, 2001.

Para avaliação desse critério será utilizada uma planilha pontuada (Tabela 7.8) que avalia fatores associados aos riscos e vulnerabilidades à saúde pública devido à ocorrência de doenças, considerando a frequência de inundações, a abrangência da exposição da população e a intensidade dos danos causados.

Tabela 7.8. Planilha pontuada para avaliação de risco e vulnerabilidade à saúde pública

RISCO E VULNERABILIDADE À SAÚDE PÚBLICA		
Item	Pontuação	Pontos Atribuídos
a) Possibilidade de transmissão de doenças por vetores alados e/ou por agente etiológico que utiliza um hospedeiro aquático intermediário, que possam proliferar em empoçamentos e alagadiços	0 – Alta 2 – Média 4 – Baixa 6 – Nenhuma	
b) Possibilidade de transmissão de doenças pelo contato direto com água ou solo (sem a presença de hospedeiros) cuja contaminação é favorecida por inundações e alagadiços	0 – Alta 7 – Média 14 – Baixa 21 – Nenhuma	
c) Possibilidade de transmissão de doenças decorrentes da ingestão de água contaminada por agentes etiológicos ou pelo contato direto com solos contaminados por esses agentes	0 – Alta 7 – Média 14 – Baixa 21 – Nenhuma	
d) Ocorrência de inundação	0 – Frequente 6 – Ocasional 12 – Remota 18 – Nunca	
e) Abrangência geográfica da exposição da população nos eventos de inundação	0 – Regional (além da área do município) 5 – Local (na área do município) 10 – Nas proximidades do sistema de drenagem urbana 15 – Nas instalações do sistema de drenagem urbana 20 – Não se aplica	
f) Reversibilidade dos danos causados	0 – Irreversível 3 – Reversível por meio de intervenção humana 6 – Reversível naturalmente 8 – Não se aplica	
g) Custos de reparação dos danos causados	0 – Altos 2 – Razoáveis 4 – Insignificantes 6 – Nenhum	
TOTAL	100	

7.4. DIMENSÃO AMBIENTAL

Nessa dimensão, serão considerados os critérios associados aos impactos ambientais produzidos pelos sistemas de drenagem urbana. Os critérios utilizados na metodologia proposta avaliam a qualidade das águas pluviais urbanas, o controle sobre a proliferação de insetos e a produção de odores. Essas avaliações são fundamentais para que se tenha um sistema adequado às necessidades locais e que cumpra sua função técnica, ambiental e social.

7.4.1. Controle de Poluição das Águas Pluviais Urbanas

A produção de resíduos e sedimentos provenientes das atividades urbanas é disposta no solo, nas vias e nas edificações por ação direta do homem ou pela ação do vento. Com a ocorrência das chuvas, esse material é carregado pela água causando a contaminação difusa das águas pluviais urbanas. A degradação da qualidade da água de drenagem pode causar diversos problemas à saúde humana e ao meio ambiente. A Tabela 7.9 apresenta alguns dos constituintes encontrados nas águas drenadas associados aos seus efeitos ambientais.

Tabela 7.9. Poluentes das águas pluviais urbanas e seus efeitos

CONSTITUINTE	EFEITO AMBIENTAL
Sedimentos (Sólidos Suspensos Totais)	- Mudanças na turbidez - Mudanças no <i>habitat</i> - Perda de áreas de lazer e de conforto estético - Transporte de contaminante
Nutrientes (Fósforo e Nitrogênio)	- Proliferação de algas - Eutrofização
Metais Pesados (Cobre, zinco, chumbo, cádmio, níquel, cromo e etc)	- Toxicidade aquática - Bioacumulação
Poluentes Orgânicos (Hidrocarbonetos e pesticidas)	- Toxicidade aquática - Bioacumulação
Outros Poluentes (Organismos patogênicos)	- Toxicidade aquática - Redução de oxigênio dissolvido - Infecções - Mortalidade de peixes
Poluição Térmica	- Redução de Oxigênio Dissolvido - Mudanças no <i>habitat</i>

Fonte: Adaptado de Ahlman, 2006.

Alguns dispositivos compensatórios de drenagem urbana reduzem a concentração dos poluentes existentes nas águas pluviais, alguns por meio de retenção, outros por meio de infiltração das águas. Brito (2006) formulou um indicador de qualidade da água que correlaciona os percentuais de remoção de poluentes dos diferentes sistemas. O indicador que foi chamado de I_{QA} é obtido por meio da soma ponderada de escores atribuídos pela autora aos parâmetros de qualidade da água, de acordo com a porcentagem de redução de poluentes resultantes do uso de cada estrutura. É importante destacar que não há padrões estabelecidos e nem opinião consensual no meio científico, que afirme com precisão o potencial de remoção de nutrientes devido à utilização de técnicas compensatórias. Na falta dessas informações, adotou-se os valores levantados por Brito (2006), apresentados na Tabela 7.10.

Tabela 7.10. Porcentagem média de redução dos poluentes do escoamento superficial

TÉCNICA COMPENSATÓRIA	PERCENTUAL DE REMOÇÃO						
	TSS (%)	TP (%)	TN (%)	TZ (%)	TPb (%)	DBO (%)	Bactérias (%)
<i>Bacia de detenção</i>	80,5	39,5	40	35,5	52	34,5	NA
<i>Bacia de detenção estendida</i>	60	15	15	45	82,5	NA	70
<i>Bacia de detenção gramada</i>	30	15	5	5	NA	NA	NA
<i>Bacia em alagadiços</i>	67	43	21	26,5	60,5	18	NA
<i>Plano de infiltração de areia</i>	52	48,5	-22,5	54	70	70	NA
<i>Canal em alagadiços</i>	40	20	15	20	NA	NA	NA
<i>Pavimento poroso de bloco modular</i>	87,5	65	80	98	80	80	NA
<i>Pavimento poroso com detenção</i>	52	48,5	-22,5	54	70	70	NA
<i>Vala gramada</i>	40	20	15	20	NA	NA	NA

Legenda: TSS – Sólidos Suspensos Totais; TP – Fósforo Total; TN – Nitrogênio Total; TZ – Zinco Total; TPb – Chumbo Total; DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; NA – Não Avaliado. (Urban Drainage and Flood Control District, 1999 *apud* Brito, 2006.)

A Tabela 7.11 apresenta os escores atribuídos por Brito (2006) como forma de uniformizar os intervalos de redução de poluentes e consequentemente desenvolver o indicador I_{QA} .

Tabela 7.11. Valores atribuídos aos parâmetros de qualidade da água de acordo com a porcentagem de redução

PARÂMETROS	LIMITES		ESCORES				
	MIN	MAX	2	4	6	8	10
TSS	30	87,5	30 a 41,5	41,6 a 53	53,1 a 64,5	64,6 a 76	76,1 a 87,5
TP	15	65	15 a 25	26 a 35	36 a 45	46 a 55	56 a 65
TN	-22,5	80	-22,5 a -2	-1,9 a 18,5	18,6 a 39	39,1 a 59,5	59,6 a 80
TZ	5	98	5 a 23,6	23,7 a 42,2	42,3 a 60,8	60,9 a 79,4	79,5 a 98
TPb	52	82,5	52 a 58,1	59,8 a 64,2	64,3 a 70,3	70,4 a 76,4	76,5 a 82,5
DBO	18	80	18, a 30,4	30,5 a 42,8	42,9 a 55,2	55,3 a 67,6	67,7 a 80

Fonte: Brito, 2006.

Segundo Brito (2006), os parâmetros *DBO* e *TPb* receberam pesos menores na composição do indicador, pois não são avaliados em todas as estruturas de drenagem urbana, exercendo assim menor influência. Os parâmetros *TN* e *TZ* receberam pesos intermediários por serem de maior variação em percentual de redução, o que indicaria uma instabilidade dos dados. E, por fim, os maiores pesos foram atribuídos aos parâmetros *TSS* e *TP* por apresentarem variações menores em percentual de remoção de poluentes, o que indicaria maior

confiabilidade no parâmetro. A partir dessas considerações foi desenvolvido o indicador I_{QA} da seguinte forma:

$$I_{QA} = \frac{0,25TSS+0,25TP+0,2TN+0,2TZ+0,05TPb+0,05DBO}{10} \quad (7.4)$$

Em que:

TSS – Escore atribuído ao percentual de remoção de sólidos suspensos totais;

TP – Escore atribuído ao percentual de remoção de fósforo total;

TN – Escore atribuído ao percentual de remoção de nitrogênio total;

TZ – Escore atribuído ao percentual de remoção de zinco total;

TPb – Escore atribuído ao percentual de remoção de chumbo total;

DBO – Escore atribuído ao percentual de remoção demanda bioquímica de oxigênio.

O valor do indicador varia entre 0 (zero) e 1 (um), sendo que o limite superior indica uma melhor qualidade da água, ou seja, indica uma maior remoção potencial de poluentes.

Apesar da utilização do indicador, é necessário e importante esclarecer que o mesmo apresenta algumas inconsistências, principalmente na ponderação dos pesos dos parâmetros. As presenças de zinco e chumbo estão estritamente associados à presença de sólidos suspensos, o que pode super valorizar os escores desses parâmetros.

7.4.2. Controle Sobre a Proliferação de Insetos

O controle sobre a proliferação de insetos faz-se necessário porque afeta a saúde pública e o bem-estar da população. A precariedade ou carência de serviços de drenagem urbana culmina com a ocorrência de doenças, uma parte delas associadas à presença de insetos, que têm nos alagadiços a possibilidade de instalações de criadouros de vetores. Além disso, essa proliferação pode ser causa de desequilíbrios ecológicos e de incômodo à população.

Para se avaliar o potencial de proliferação de insetos causada pelo sistema de drenagem urbana que se deseja implantar, será utilizada uma planilha pontuada, que avalia a severidade, a natureza e o potencial de mitigação do impacto (Tabela 7.12).

Tabela 7.12. Planilha pontuada para avaliação do controle sobre a proliferação de insetos

CONTROLE SOBRE A PROLIFERAÇÃO DE INSETOS		
Item	Pontuação	Pontos Atribuídos
a) Importância do impacto da inundação sobre a proliferação de insetos	0 – Desprezível 5 – Baixa 10 – Média 15 – Alta 20 – Muito Alta	
b) Ocorrência de inundação	0 – Freqüente 4 – Ocasional 12 – Remota 20 - Nunca	
c) Abrangência geográfica da proliferação de insetos nos eventos de inundação	0 – Regional (além da área do município) 5 – Local (na área do município) 10 – Nas proximidades do sistema de drenagem urbana 15 – Nas instalações do sistema de drenagem urbana 20 – Não se aplica	
d) Reversibilidade dos efeitos da inundação sobre a proliferação de insetos	0 – Irreversível 4 – Reversível por meio de intervenção humana 14 – Reversível naturalmente 20 – Não se aplica	
e) Custos de reparação dos efeitos da inundação sobre a proliferação de insetos	0 – Altos 4 – Razoáveis 12 – Insignificantes 20 – Nenhum	
TOTAL	100	

7.4.3. Problemas de Odores

Os problemas de odores terão avaliação semelhante ao controle sobre a proliferação de insetos, em que será avaliada a severidade e a natureza do impacto, bem como o potencial de mitigação do mesmo.

Em alguns casos em que a correlação entre a presença de insetos e os problemas de odores seja muito grande, recomenda-se que um dos dois critérios seja desconsiderado na avaliação, preferencialmente o critério de controle sobre a proliferação de insetos que também possui uma interface com o critério que avalia os riscos e vulnerabilidade à saúde pública. A adoção dessa recomendação deve ficar a critério do analista que utilizará o procedimento de avaliação. A avaliação do critério se dará por meio de planilha pontuada (Tabela 7.13).

Tabela 7.13. Planilha pontuada para avaliação dos problemas de odores

PROBLEMAS DE ODORES		
Item	Pontuação	Pontos Atribuídos
a) Importância do impacto da inundação sobre o problema de odores	0 – Desprezível 5 – Baixa 10 – Média 15 – Alta 20 – Muito Alta	
b) Ocorrência de inundação	0 – Freqüente 4 – Ocasional 12 – Remota 20 – Nunca	
c) Abrangência geográfica dos problemas de odores nos eventos de inundação	0 – Regional (além da área do município) 5 – Local (na área do município) 10 – Nas proximidades do sistema de drenagem urbana 15 – Nas instalações do sistema de drenagem urbana 20 – Não se aplica	
d) Reversibilidade dos efeitos da inundação sobre o problema de odores	0 – Irreversível 4 – Reversível por meio de intervenção humana 14 – Reversível naturalmente 20 – Não se aplica	
e) Custos de reparação dos efeitos da inundação sobre os problemas de odores	0 – Altos 4 – Razoáveis 12 – Insignificantes 20 – Nenhum	
TOTAL	100	

7.5. DIMENSÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS

O termo desenvolvimento sustentável foi definido pelo Relatório *Brundtland*, como sendo aquele que “*encontra as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras encontrarem as suas próprias necessidades*”.

A discussão da sustentabilidade sob qualquer ponto de vista evidencia sua complexidade. Braden e Ierland (1999 *apud* Brostel, 2002) conceituam sustentabilidade como sendo a “*capacidade para manter ou melhorar padrões de bem-estar sobre as gerações*”, em que o bem-estar contempla além dos níveis de consumo, a qualidade do ambiente natural e a proteção a liberdade humana. Portanto, a sustentabilidade não deve ser vista como um estado fixo, e a sua avaliação deve ser feita considerando o seu caráter dinâmico.

Pode-se dizer que a sustentabilidade quando analisada no contexto de gestão de recursos hídricos, significa a manutenção desses recursos em quantidade e qualidade, de forma a suprir os ecossistemas e as necessidades humanas futuras, enquanto atende aos requisitos atuais. Devido a essa necessidade, é que serão considerados aspectos relativos à sustentabilidade dos sistemas de drenagem urbana. A metodologia proposta utiliza 4 (quatro) critérios para avaliação dessa dimensão: o uso de princípios e práticas sustentáveis, a possibilidade de utilização das águas pluviais urbanas, o escalonamento dos objetivos e a possibilidade de monitoramento da qualidade das águas pluviais.

7.5.1. Uso de Princípios e Práticas Sustentáveis

Pronk e Haq (1992 *apud* Pompêo, 2000) afirmam que o desenvolvimento sustentável relaciona-se com um processo de formulação de políticas que permitem um desenvolvimento que seja sustentável sob o ponto de vista econômico, social e ecológico. Associada à drenagem urbana, a sustentabilidade deve primar por ações baseadas no reconhecimento da complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade (Pompêo, 2000).

A participação da sociedade é tida como ingrediente essencial no traçado do caminho rumo ao desenvolvimento sustentável. Para tanto, deve-se investir na educação ambiental e na participação democrática da sociedade para tomada de decisão e execução de ações associadas à drenagem urbana. Segundo Pompêo (2000), aumentar a participação da sociedade e deixá-la assumir suas responsabilidades faz parte da sustentabilidade.

A sustentabilidade, quando analisada no contexto de gestão de recursos hídricos, significa a manutenção desses recursos em quantidade e qualidade de forma a sustentar os ecossistemas e as necessidades humanas futuras, enquanto atende aos requisitos atuais.

Para se avaliar o uso de princípios e práticas sustentáveis associados à utilização do sistema de drenagem urbana que se deseja implantar, será utilizada uma planilha pontuada (Tabela 7.14), que avalia suas ações sob o ponto de vista econômico, social e ecológico. Essa avaliação analisa a integração do sistema de drenagem com o ambiente, com a sociedade além de considerar os as possibilidades econômicas envolvidas.

Tabela 7.14. Planilha pontuada para avaliação o uso de princípios e práticas sustentáveis

USO DE PRINCÍPIOS E PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS		
Item	Pontuação	Pontos Atribuídos
Sustentabilidade Ecológica		
a) Compatibilização e integração entre desenvolvimento e conservação	0 – Alta associação negativa 4 – Média associação negativa 8 – Baixa associação negativa 12 – Baixa associação positiva 16 – Média associação positiva 20 – Alta associação positiva	
b) Atendimento das finalidades específicas dos recursos vivos (Manutenção dos processos ecológicos essenciais; preservação da diversidade genética; utilização sustentada das espécies e do ecossistema)	0 – Grande piora 4 – Média piora 8 – Baixa piora 12 – Baixa melhora 16 – Média melhora 20 – Grande melhora	
Sustentabilidade Social		
c) Conhecimento da sociedade a respeito da sustentabilidade na drenagem urbana como forma de instrumentalizar sua participação nos níveis decisórios	0 – Inexistente 5 – Baixo conhecimento 15 – Médio conhecimento 20 – Alto conhecimento	
d) Acesso a informação e a educação ambiental na sociedade oferecido pelos órgãos responsáveis (Federais, Estaduais e Municipais)	0 – Não se aplica / Não há 4 – Somente aos gestores, consultores e especialistas 8 – A pequena parte da sociedade 12 – A parte razoável da sociedade 16 – A maior parte da sociedade 20 – A toda sociedade	
Sustentabilidade Econômica		
e) Localidade geográfica do benefício econômico gerado pela implantação do sistema de drenagem urbana (valorização da propriedade, desenvolvimento do comércio, redução de gastos com saúde pública e etc)	0 – Não se aplica 2,5 – Nas proximidades do sistema 7,5 – Local (Na área do município) 10 – Regional (além da área do município)	
f) Financiamento do sistema de drenagem urbana (custos de implantação, operação e manutenção)	0 – Totalidade de recursos públicos 2,5 – Maioria dos recursos públicos 5 – Equilíbrio entre recursos públicos e privados 7,5 – Maioria dos recursos provenientes da sociedade (consórcios, associações, financiadores) 10 – Recursos totalmente provenientes da sociedade (consórcios, associações, financiadores)	
TOTAL	100	

7.5.2. Possibilidade de Utilização das Águas Pluviais Urbanas

Alguns dos sistemas de drenagem urbana fazem uso de dispositivos de infiltração e armazenamento. Normalmente, esses dispositivos possibilitam uma estocagem e melhoria

da qualidade das águas escoadas. Para usos gerais que não envolvam o consumo humano ou de animais, essa água pode ser aproveitada, como por exemplo, para lavagem de áreas externas, descargas sanitárias e irrigações de gramados e jardins.

Alguns estudos tratam de quantificar o volume de água que pode ser armazenado para aproveitamento da água da chuva. Frenndrich e Oliynik (2002) apresentam a seguinte expressão:

$$V_{arm} = A_{sc} \cdot P \cdot C \quad (7.5)$$

Sendo:

V_{arm} – Volume armazenado de água de chuva que pode ser aproveitado (m^3);

A_{sc} – Área da superfície de coleta (m^2);

P – Altura média anual/mensal de chuva (m);

C – Coeficiente de escoamento superficial.

Brito (2006) propõe o uso de um indicador que representa a relação da capacidade de armazenamento do sistema pela demanda de água para fins não potáveis. O indicador que será chamado de *indicador de utilização das águas pluviais* (I_{UAP}), apresenta-se da seguinte forma:

$$I_{UAP} = \frac{V_{arm}}{V_{dem}} \quad (7.6)$$

Em que:

V_{arm} – Volume armazenado pelo sistema (m^3 /tempo);

V_{dem} – Volume demandado pela população atendida pelo sistema de drenagem urbana (m^3 /tempo).

Os dados de demanda podem ser obtidos nas companhias de abastecimento de água locais. Na falta de dados locais, Tomaz (2000) afirma que $45m^3$ são suficientes para abastecer uma família composta por 4 (quatro) pessoas durante 4 (quatro) meses, para usos não potáveis como descarga na bacia sanitária, lavagem de roupas e lavagem de carros e varandas. Esse valor corresponde a um consumo *per capita* de $2,81m^3$ /mês.

O indicador formulado apresenta valores sempre positivos, aproximando-se de 0 (zero) quando a demanda local for muito grande em relação à água armazenada. Se o sistema de drenagem não apresentar mecanismos de armazenamento, o valor do indicador será 0 (zero), indicando a pior situação. O limite superior do indicador será igual a 1 (um) para situações em que o volume armazenado pelo sistema for maior ou igual ao volume demandado.

7.5.3. Escalonamento dos Objetivos ao Longo do Tempo

O escalonamento dos objetivos que devem ser atendidos por um sistema de drenagem urbana pode ser importante para viabilizar o aporte financeiro. Além disso, a fixação de metas pode ser uma medida que denote transparência na gestão pública associada à drenagem urbana. Dessa maneira, pode ser produzido um sistema com maior simplicidade operacional que cumpra as exigências técnicas, sociais e ambientais. Para proceder essa avaliação, será utilizada uma planilha pontuada (Tabela 7.15).

Tabela 7.15. Planilha pontuada para avaliação da possibilidade de escalonamento dos objetivos ao longo do tempo

ESCALONAMENTO DOS OBJETIVOS AO LONGO DO TEMPO		
Item	Pontuação	Pontos Atribuídos
a) Possibilidade de investimentos progressivos	0 – Não (desconsidere <i>todos</i> os itens seguintes) 10 – Sim	
b) Possibilidade de alteração de investimentos em função de alterações de uso de solo e ordenamento territorial	0 – Não 10 – Sim	
c) Comprometimento técnico em função do escalonamento de ações	0 – Alto 10 – Tolerável 20 – Nenhum	
d) Comprometimento ambiental em função do escalonamento de ações	0 – Alto 10 – Tolerável 20 – Nenhum	
e) Comprometimento social em função do escalonamento de ações	0 – Alto 10 – Tolerável 20 – Nenhum	
f) Comprometimento legal em função do escalonamento de ações	0 – Alto 10 – Tolerável 20 – Nenhum	
TOTAL	100	

7.5.4. Possibilidade de Monitoramento da Qualidade das Águas Pluviais Urbanas

O controle da qualidade das águas pluviais urbanas possibilita ações preventivas para promover a saúde pública e diminuir riscos ao meio ambiente. A utilização de um critério que mensure esse controle permite que os sistemas de drenagem sejam aperfeiçoados para garantir maior segurança e aumentar a qualidade de vida da população. A avaliação desse critério será feita por meio de uma planilha pontuada (Tabela 7.16).

Tabela 7.16. Planilha pontuada para avaliação da possibilidade de monitoramento da qualidade das águas pluviais urbanas

POSSIBILIDADE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS		
Item	Pontuação	Pontos Atribuídos
a) O sistema possui dispositivos de armazenamento de água?	0 – Não 20 – Sim	
b) O sistema possibilita a instalação de mecanismos de coleta de águas pluviais urbanas?	0 – Não 20 – Sim	
c) Podem ser feitas análises da qualidade da água?	0 – Não 15 – Sim, imediatamente após a precipitação 30 – Sim, durante um breve período após a precipitação 45 – Sim, durante longos períodos após a precipitação	
d) os mecanismos utilizados para o controle da qualidade prejudicam o desempenho do sistema de drenagem?	0 – Não 15 – Sim	
TOTAL	100	

7.6. DIMENSÃO TÉCNICA

Os critérios técnicos a serem considerados dizem respeito às implicações hidráulicas, hidrológicas e de alteração física no meio de implantação do sistema de drenagem urbana. Através desses critérios, os impactos da urbanização podem ser avaliados, em função de parâmetros como a vazão e o tempo de retorno na área afetada. Essa dimensão tem fundamental importância na minimização dos riscos de inundação.

7.6.1. Alteração do Meio Físico

Para avaliar esse critério, será feita a comparação entre as áreas impermeáveis antes e depois da implantação do sistema de drenagem urbana, assim como a relação entre as áreas verdes antes e depois da intervenção. Em decorrência da dificuldade de se medir essas áreas, pode ser necessária a utilização de fotos aéreas e outros recursos de sensoriamento remoto, que eventualmente podem estar limitados pelos custos de aplicação. Castro (2002), Moura (2004) e Brito (2006) utilizaram indicadores semelhantes em suas pesquisas.

O indicador de alteração do meio físico (I_{AMF}) tem a seguinte formulação:

$$I_{AMF} = \left[\frac{A_{IA} - A_{ID}}{A_{IA}} \right] + \left[\frac{A_{VD} - A_{VA}}{A_{VA}} \right] \quad (7.7)$$

Em que:

A_{IA} – Área impermeável antes da implantação do sistema de drenagem (m²);

A_{ID} – Área impermeável depois da implantação do sistema de drenagem (m²);

A_{VA} – Área verde antes da implantação do sistema de drenagem (m²);

A_{VD} – Área verde depois da implantação do sistema de drenagem (m²).

O termo referente à área verde tem valor máximo igual a 1 (um) quando a área verde após a intervenção for maior ou igual a duas vezes a área verde antes da intervenção e valor mínimo de -1 (menos um), quando a área verde antes da intervenção for completamente suprimida. Da mesma forma, o termo referente à área impermeável tem valor máximo igual a 1 (um) quando há a completa supressão de área impermeável, e quando a área impermeável após a implantação do sistema for maior ou igual a duas vezes o valor da área impermeável antes valor mínimo de -1 (menos um).

Assim, o valor máximo que poderá ser obtido pelo indicador será 2 (dois) e o valor mínimo possível será -2 (menos dois). Quando não houver alteração de áreas, o indicador terá valor 0 (zero).

Outra forma, de se avaliar a alteração do meio físico, seria comparar as relações de áreas verdes e impermeáveis com relação à condição natural do local avaliado. Embora fosse

uma abordagem mais consistente da alteração do meio físico, demandaria dados históricos para realizar a avaliação.

7.6.2. Alterações na Vazão de Pico

O desempenho hidrológico do sistema de drenagem pode reduzir ou aumentar a vazão de pico, contribuindo para o amortecimento ou agravamento de um evento de cheia. O tempo gasto até o pico de vazão, também, pode ser determinante na ocorrência de inundações. Áreas muito impermeabilizadas tendem a aumentar o escoamento superficial e combinadas a obras de canalização, por exemplo, podem reduzir o tempo até o pico de vazão, dificultando a preparação para minimizar os impactos de uma inundação urbana. Assim, o sistema pode retardar ou favorecer a ocorrência de enchentes. Para que seja possível comparar o tempo antes e depois da implantação do sistema de drenagem urbana, deve-se obviamente considerar eventos de mesma intensidade.

Brito (2006) utilizou dois critérios para avaliar os impactos causados na vazão de pico. O primeiro deles avaliava a variação produzida na magnitude da vazão de pico e, o segundo, a variação provocada no tempo até o pico de vazão. A metodologia proposta apresenta uma agregação desses critérios.

O indicador é obtido pela variação produzida na vazão de pico e no tempo ao pico, verificados antes e depois da implantação do sistema de drenagem urbana. O indicador, que será chamado de *indicador de variação na vazão de pico* (I_{VVP}), possui a seguinte forma:

$$I_{VVP} = \left[\frac{Q_{PA} - Q_{PD}}{Q_{PA}} \right] + \left[- \left(\frac{T_{PA} - T_{PD}}{T_{PA}} \right) \right] \quad (7.8)$$

Sendo:

Q_{PA} – Vazão de pico antes da implantação do sistema de drenagem urbana;

Q_{PD} – Vazão de pico depois da implantação do sistema de drenagem urbana;

T_{PA} – Tempo ao pico de vazão antes da implantação do sistema de drenagem urbana;

T_{PD} – Tempo ao pico de vazão depois da implantação do sistema de drenagem urbana.

O primeiro termo da expressão diz respeito à variação produzida na vazão de pico, em que valores negativos correspondem a aumento da vazão, e o amortecimento da vazão indica valores positivos.

O segundo termo, referente ao tempo até a ocorrência da vazão de pico, apresentará valores negativos quando ocorrer aumento do tempo ao pico, situação favorável a segurança à medida que retarda a ocorrência de inundação; e valores positivos quando ocorrer redução do tempo ao pico de vazão, situação desfavorável a segurança à medida que facilita a ocorrência de inundação.

A melhor situação hipotética do primeiro termo corresponde a uma redução total da vazão de pico, que produziria um valor igual a 1 (um). A pior situação terá valor igual a -1 (menos um), quando a vazão de pico após a implantação do sistema for maior ou igual a duas vezes a vazão de pico anterior.

Os limites máximos e mínimos do segundo termo serão fixados em 1 (um), quando o tempo ao pico após a intervenção for bastante reduzido em relação ao tempo antes da implantação, e -1 (menos um), quando o tempo ao pico depois da implantação for igual ou maior a duas vezes o tempo antes da implantação do sistema.

Dessa maneira, o valor obtido para o indicador estará compreendido entre 2 (dois) e -2 (menos dois).

Um ponto importante a ser observado é a possibilidade de sobreposição de hidrogramas, quando o tempo até o pico for muito prolongado, o que tornaria o cenário inadequado. Assim, o aspecto aparentemente positivo em retardar o pico de vazão seria negativo. O ideal seria manter o tempo até o pico de vazão após a implantação do sistema de drenagem urbana semelhante ao tempo até o pico de vazão da condição natural da bacia.

7.6.3. Tempo de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto

Este critério é expresso pelo indicador de atendimento ao objetivo de minimizar a ocorrência de inundações. Seu cálculo é fundamentado no nível de proteção de cheias proporcionado pela alternativa em projeto, quantificado pela relação entre o tempo de

retorno previsto da alternativa em questão e o tempo de retorno desejável para a obra. Esse indicador foi utilizado por Castro (2002), Moura (2004) e Brito (2006).

O valor do indicador será sempre positivo e, se o tempo de retorno do projeto (alternativa de sistema de drenagem) for maior ou igual ao tempo de retorno desejável, o valor do *indicador de tempo de retorno* (I_{TR}) será igual a 1 (um). Para situações em que o tempo de retorno de projeto seja menor que o tempo de retorno desejável, o indicador obedecerá à seguinte expressão:

$$I_{TR} = \frac{T_{RP}}{T_{RD}} \leq 1 \quad (7.9)$$

Em que:

T_R - Tempo de retorno de projeto;

T_{RD} - Tempo de retorno desejável.

7.6.4. Confiabilidade

Segundo Dhillon (1983, *apud* Brostel, 2002), o estudo da confiabilidade teve início no período da 2ª Guerra Mundial, e desde então, tem crescido e sido aplicado em diferentes áreas. A confiabilidade de sistemas é dividida em duas categorias: a confiabilidade de projetos e a confiabilidade operacional. A primeira categoria inclui o estudo de itens, como análise de confiabilidade, verificação de projetos e análise de testes de confiabilidade, enquanto que a segunda trata da análise de falhas, registros de operação e ações corretivas. Ainda, afirma que a “*confiabilidade é a probabilidade de um item desempenhar sua função adequadamente, de acordo com as condições especificadas, por um período previsto de tempo.*”

Para a verificação da confiabilidade operacional do sistema de drenagem urbana, será utilizada uma planilha pontuada (Tabela 7.17) para que seja feita a verificação de alguns itens essenciais, como a dificuldade de monitoramento do funcionamento do sistema, a possibilidade de tomar ações corretivas antes da ocorrência de falhas e o risco de comprometimento das funções técnicas em função de falhas no sistema.

Tabela 7.17. Planilha pontuada para avaliação da confiabilidade operacional do sistema

CONFIABILIDADE		
Item	Pontuação	Pontos Atribuídos
a) Dificuldade de Monitorar o funcionamento do sistema	0 – Alta 10 – Média 20 – Baixa	
b) Possibilidade de tomar ações corretivas antes da ocorrência de falhas	0 – Nenhuma 10 – Baixa 20 – Média 30 – Alta	
c) Risco de falhas no sistema de drenagem urbana com comprometimento das funções técnicas	0 – Muito Alto 10 – Alto 20 – Médio 30 – Baixo 40 – Muito Baixo 50 - Desprezível	
TOTAL	100	

7.7. DEFINIÇÃO DAS CATEGORIAS DE DESEMPENHO SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

O desempenho dos sistemas de drenagem poderá ser alocado em seis categorias: “Ótimo”, “Muito Bom”, “Bom”, “Regular”, “Ruim” e “Muito Ruim”.

Para avaliar os desempenhos de Estações de Tratamento de Esgoto, Brostel (2002) fixou os intervalos de desempenho em cinco faixas, cada uma correspondente a 20% da escala do critério avaliado. A utilização de um valor fixo em termos percentuais para todos os critérios simplifica a avaliação. Cada critério deve ser analisado de uma forma específica, considerando a qualidade das informações, o tipo de procedimento utilizado para avaliação e a importância relativa do critério para garantia do cumprimento dos objetivos associados à drenagem urbana.

Ribeiro (2003) consultou especialistas para determinar as ações de referência utilizadas na avaliação de desempenho de Estações de Tratamento de Água. Esse procedimento pode minimizar as discussões a respeito dos possíveis desempenhos, contudo demandaria bastante tempo, e não garante a obtenção de um consenso sobre os valores que limitam intervalos de desempenho.

Na metodologia proposta, as ações de referência foram fixadas pelo analista com base nas informações obtidas pela pesquisa bibliográfica e pela discussão com outros pesquisadores. Para utilização do *TOPSIS* as ações foram estabelecidas somente para as dimensões, e para utilização do *ELECTRE TRI* cada critério teve suas ações determinadas.

7.7.1. Definição das categorias de desempenho utilizando o método *TOPSIS*

O método *TOPSIS* faz uma agregação dos valores de desempenho obtidos individualmente para cada critério e apresenta um valor global, correspondente a taxa de similitude. O intervalo de abrangência dessa taxa, que varia entre 0 (zero) e 1 (um), foi subdividido em diferentes faixas para cada uma das dimensões de avaliação de acordo com a importância e a característica da dimensão. Os valores estabelecidos para cada dimensão são apresentados na Tabela 7.18.

Tabela 7.18. Distribuição de intervalos para alocação dos sistemas de drenagem em categorias de desempenho segundo as dimensões de avaliação com aplicação do *TOPSIS*

DESEMPENHO	DIMENSÃO						
	LEGAL	ECONÔMICA	SOCIAL	AMBIENTAL	PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS	TÉCNICA	GLOBAL
ÓTIMO	1,0 - 0,9	1,0 - 0,75	1,0 - 0,8	1,0 - 0,8	1,0 - 0,7	1,0 - 0,9	1,0 - 0,75
MUITO BOM	0,9 - 0,7	0,75 - 0,6	0,8 - 0,6	0,8 - 0,6	0,7 - 0,6	0,9 - 0,7	0,75 - 0,6
BOM	0,7 - 0,5	0,6 - 0,45	0,6 - 0,5	0,6 - 0,5	0,6 - 0,5	0,7 - 0,5	0,6 - 0,45
REGULAR	0,5 - 0,3	0,45 - 0,3	0,5 - 0,3	0,5 - 0,4	0,5 - 0,3	0,5 - 0,3	0,45 - 0,3
RUIM	0,3 - 0,1	0,3 - 0,15	0,3 - 0,1	0,4 - 0,2	0,3 - 0,1	0,3 - 0,1	0,3 - 0,15
MUITO RUIM	0,1 - 0,0	0,15 - 0,0	0,1 - 0,0	0,2 - 0,1	0,1 - 0,0	0,1 - 0,0	0,15 - 0,0

Nota: Os valores da tabela correspondem aos intervalos nos quais a taxa de similitude (D_p) pode estar alocada.

As ações de referência estabelecidas para as dimensões legais e técnicas apresentam maior rigor. A primeira devido ao caráter obrigatório do cumprimento da legislação e a segunda devido à necessidade de minimização dos riscos decorrentes das inundações.

As dimensões sociais e ambientais possuem um rigor intermediário na delimitação das ações de referência, em decorrência da importância secundária atribuída pelos atores no atendimento dos objetivos esperados pelas à drenagem urbana.

As dimensões econômicas e de práticas sustentáveis apresentam ações de referência consideradas mais tolerantes, a primeira por ser relativa em função dos benefícios produzidos e a segunda por ser considerada como uma dimensão complementar, que agregar valor ao sistema de drenagem.

Por fim, os valores estabelecidos para as ações de referência da dimensão global buscam mediar às relações das dimensões que a compõem.

7.7.2. Definição das categorias de desempenho utilizando o método *ELECTRE TRI*

O *ELECTRE TRI* considera no seu procedimento de alocação o enquadramento do sistema segundo as ações de referência estabelecidas para cada critério, e faz as ponderações de valores necessárias que permitem obter o enquadramento final do sistema de drenagem urbana em uma das categorias de desempenho.

Para definição das categorias de desempenho que poderiam ser atribuídas aos sistemas de drenagem urbana partiu-se de uma divisão fictícia da escala de valores dos critérios que estabeleceria cinco intervalos iguais para a alocação. Esses intervalos foram modificados de acordo com as particularidades de cada critério.

Para o critério de atendimento à legislação, não foi considerada nenhuma observação relevante que modificasse a divisão da escala de valores que foi dividida em intervalos iguais. O rigor esperado no cumprimento do critério fica internalizado na própria planilha de avaliação.

No critério da dimensão econômica, o índice de custos estabeleceu que uma alternativa que fosse mais econômica que a média das alternativas em mais de 30% seria considerada “ótima”, e os demais desempenhos subdivididos em intervalos aproximadamente iguais. Essa consideração limita o intervalo superior do indicador, que matematicamente seria ilimitado.

Quanto aos critérios da dimensão social, foram estabelecidos valores iguais para os intervalos dos critérios *necessidade de intervenção na propriedade privada* e *aceitação*

social do sistema de drenagem urbana, preocupando-se em estabelecer faixas de desempenho que refletissem o impacto social do sistema de drenagem urbana. Já o critério referente aos *riscos e vulnerabilidade à saúde pública* teve sua escala dividida atribuindo-se um intervalo maior para categoria “ótimo” em função da dificuldade em se garantir proteção sanitária à população.

Com relação aos critérios ambientais, principalmente o que mede o controle de poluição das águas pluviais urbanas, pode-se afirmar que houve uma redução dos intervalos para que as intervenções que apresentassem valores maiores de desempenho fossem premiadas, uma vez que esse tipo de intervenção contribui bastante para o equilíbrio ambiental da área de intervenção e para a manutenção dos padrões ambientais dos corpos receptores.

Para os critérios associados às práticas sustentáveis, que podem ser vistas como objetivos secundários da drenagem urbana foram atribuídos intervalos que considerem como bons desempenhos resultados numericamente pequenos, haja vista que são condicionantes complementares à funcionalidade dos sistemas de drenagem urbana. Essa consideração permite que sejam detectadas, por menores que sejam quaisquer melhorias humanitárias em função da preferência por medidas sustentáveis.

E por fim, os critérios técnicos, que foram considerados “ótimos” para qualquer melhora que se apresentasse com relação ao cenário natural da área de intervenção, como se vê nos critérios de alteração do meio físico e nas vazões de pico. Com relação ao tempo de retorno de projeto, foi estabelecido um limite mais rigoroso em decorrência do risco associado ao não atendimento do tempo de retorno desejável para a área de intervenção.

Na Tabela 7.19 são apresentados os valores limites de cada categoria segundo os critérios de avaliação com a utilização do método multicritério e multiobjetivo *ELECTRE TRI*.

Tabela 7.19. Limites das categorias de desempenho dos critérios de avaliação para aplicação do método *ELECTRE TRI*

CRITÉRIO		LIMITES DOS PERFIS					
		ÓTIMO	MUITO BOM	BOM	REGULAR	RUIM	MUITO RUIM
C1	<i>Atendimento à Legislação</i>	$f(x) > 80$	$80 \geq f(x) > 60$	$60 \geq f(x) > 40$	$40 \geq f(x) > 20$	$20 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C2	<i>Índice de Custos</i>	$f(x) > 1,5$	$1,5 \geq f(x) > 1,0$	$1,0 \geq f(x) > 0,6$	$0,6 \geq f(x) > 0,2$	$0,2 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C3	<i>Necessidade de intervenção na propriedade privada</i>	$f(x) > (-0,2)$	$(-0,2) \geq f(x) > (-0,4)$	$(-0,4) \geq f(x) > (-0,6)$	$(-0,6) \geq f(x) > (-0,8)$	$(-0,8) \geq f(x) > (-1,0)$	$f(x) = (-1,0)$
C4	<i>Aceitação Social do Sistema de Drenagem Urbana</i>	$f(x) > 80$	$80 \geq f(x) > 60$	$60 \geq f(x) > 40$	$40 \geq f(x) > 20$	$20 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C5	<i>Riscos e Vulnerabilidade à Saúde Pública</i>	$f(x) > 70$	$70 \geq f(x) > 40$	$40 \geq f(x) > 20$	$20 \geq f(x) > 10$	$10 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C6	<i>Controle de Poluição das Águas Pluviais Urbanas</i>	$f(x) > 0,6$	$0,6 \geq f(x) > 0,4$	$0,4 \geq f(x) > 0,2$	$0,2 \geq f(x) > (0,1)$	$0,1 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C7	<i>Controle sobre a Proliferação de Insetos</i>	$f(x) > 80$	$80 \geq f(x) > 60$	$60 \geq f(x) > 40$	$40 \geq f(x) > 20$	$20 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C8	<i>Problemas de Odores</i>	$f(x) > 70$	$70 \geq f(x) > 50$	$50 \geq f(x) > 30$	$30 \geq f(x) > 10$	$10 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C9	<i>Possibilidade de Utilização das Águas Pluviais Urbanas</i>	$f(x) > 0,8$	$0,8 \geq f(x) > 0,6$	$0,6 \geq f(x) > 0,4$	$0,4 \geq f(x) > 0,2$	$0,2 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C10	<i>Uso de Princípios e Práticas Sustentáveis</i>	$f(x) > 50$	$50 \geq f(x) > 40$	$40 \geq f(x) > 30$	$30 \geq f(x) > 20$	$20 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C11	<i>Escalonamento dos Objetivos ao longo do tempo</i>	$f(x) > 80$	$80 \geq f(x) > 60$	$60 \geq f(x) > 40$	$40 \geq f(x) > 20$	$20 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C12	<i>Possibilidade de Monitoramento da Qualidade das Águas Pluviais Urbanas</i>	$f(x) > 80$	$80 \geq f(x) > 60$	$60 \geq f(x) > 40$	$40 \geq f(x) > 20$	$20 \geq f(x) > 0$	$f(x) = 0$
C13	<i>Alterações no Meio Físico</i>	$f(x) > 0,0$	$0,0 \geq f(x) > (-0,5)$	$(-0,5) \geq f(x) > (-1,0)$	$(-1,0) \geq f(x) > (-1,5)$	$(-1,5) \geq f(x) > (-2,0)$	$f(x) = (-2,0)$
C14	<i>Alterações na Vazão de Pico</i>	$f(x) > 0,0$	$0,0 \geq f(x) > (-0,5)$	$(-0,5) \geq f(x) > (-1,0)$	$(-1,0) \geq f(x) > (-1,5)$	$(-1,5) \geq f(x) > (-2,0)$	$f(x) = (-2,0)$
C15	<i>Tempo de Retorno de Projeto</i>	$f(x) > 0,95$	$0,95 \geq f(x) > 0,9$	$0,9 \geq f(x) > 0,85$	$0,85 \geq f(x) > 0,8$	$0,80 \geq f(x) > 0,75$	$0,75 \geq f(x)$
C16	<i>Confiabilidade</i>	$f(x) > 90$	$90 \geq f(x) > 70$	$70 \geq f(x) > 50$	$50 \geq f(x) > 30$	$30 \geq f(x) > 10$	$10 \geq f(x)$

Legenda: $f(x)$ corresponde ao desempenho obtido pelo sistema de drenagem urbana sob o critério avaliado.

7.8. APRESENTAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

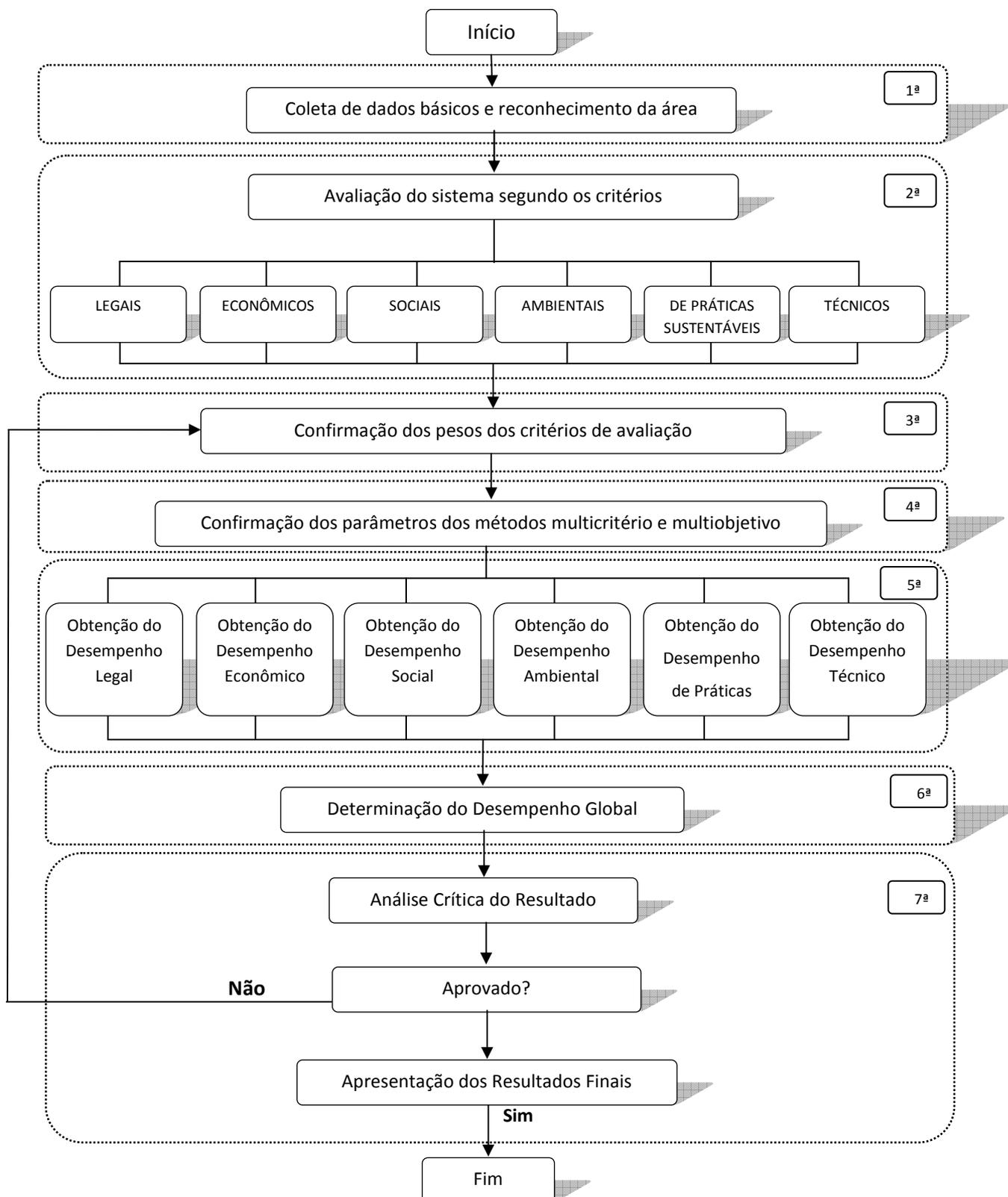


Figura 7.2 – Fluxograma do Modelo de Avaliação de Desempenho Global de Sistemas de Drenagem Urbana

A metodologia de apoio proposta na Figura 7.2 que trata de avaliar o desempenho de sistemas de drenagem deve ser aplicada em sete etapas, identificadas de acordo com o contexto do sistema. A estrutura básica do modelo foi desenvolvida a partir da revisão bibliográfica de trabalhos que avaliaram desempenhos de outros tipos de sistemas, como Estações de Tratamento de Água e Esgoto (Generino, 1999; Brostel, 2002 e Ribeiro, 2003).

7.8.1. Coleta de dados e reconhecimento do sistema de drenagem urbana (1ª Etapa)

Faz-se um reconhecimento do sistema de drenagem urbana para identificação dos dados básicos do sistema. O Apêndice B apresenta os dados que devem ser coletados. Esses dados permitem calcular os desempenhos dos sistemas de drenagem urbana sob os critérios de avaliação que utilizam indicadores.

7.8.2. Avaliação dos desempenhos do sistema de drenagem segundo os diferentes critérios (2ª Etapa)

Nesta etapa, deverão ser feitas as avaliações dos desempenhos dos sistemas de drenagem sob todos os critérios, de acordo com os procedimentos estabelecidos para cada um. Faz-se a avaliação com base nos dados coletados, levantados na etapa anterior, assim como na observação específica dos parâmetros considerados para medida do desempenho dos sistemas de drenagem urbana para os critérios qualitativos, avaliados com a utilização das planilhas do apêndice B.

7.8.3. Confirmação dos pesos dos critérios (3ª Etapa)

Em decorrência da complexidade que rodeia a determinação dos pesos dos critérios em um processo de avaliação, buscou-se definir os pesos de maneira simples, objetiva e que não produzissem grandes incertezas. A princípio, seria utilizada a Técnica Delphi, por considerá-la bastante democrática e com alto grau de concordância. Entretanto, o tempo necessário seria muito grande, visto que a primeira etapa de consulta aos especialistas durou aproximadamente um mês. Assim, foram obtidos resultados em somente uma etapa de discussão, ficando o consenso a cargo do analista.

Os critérios foram enquadrados em escala de importância de acordo com os objetivos, os mesmos foram corrigidos para que a soma total dos pesos fosse igual a 100(cem). Os objetivos também tiveram os pesos corrigidos para a mesma escala (Tabela 7.20).

Tabela 7.20. Pesos dos objetivos de avaliação

OBJETIVO (DIMENSÃO)	PESO INICIAL	PESO CORRIGIDO
<i>Legal</i>	3,25	17,16
<i>Econômico</i>	2,75	14,52
<i>Social</i>	2,93	15,47
<i>Ambiental</i>	3,13	16,53
<i>De práticas sustentáveis</i>	3,00	15,84
<i>Técnico</i>	3,88	20,49
TOTAL	18,94	100,00

Para os critérios que não tiveram seu escopo alterado, foram atribuídos como pesos os valores médios obtidos na pesquisa. Esses critérios que tiveram seus pesos mantidos foram:

- 1) *necessidade de intervenção na propriedade privada;*
- 2) *controle de poluição das águas pluviais urbanas;*
- 3) *controle sobre a proliferação de insetos, problemas de odores;*
- 4) *possibilidade de utilização das águas pluviais urbanas;*
- 5) *uso de princípios e práticas sustentáveis;*
- 6) *tempo de retorno de projeto e;*
- 7) *confiabilidade.*

Para alguns novos critérios que foram sugeridos, adotou-se o peso como sendo a média entre o valor sugerido pelo especialista e a média obtida por todos os demais critérios. Foram calculados, segundo esse procedimento, os pesos dos seguintes critérios:

- 1) *atendimento à legislação;*
- 2) *aceitação social do sistema de drenagem urbana;*
- 3) *problemas de odores;*
- 4) *riscos e vulnerabilidade à saúde pública;*
- 5) *escalonamento dos objetivos ao longo do tempo e;*
- 6) *possibilidade de monitoramento da qualidade das águas pluviais urbanas.*

Para os critérios que foram redefinidos através da agregação de critérios preliminares, fez-se uma atribuição de valores com base nos valores atribuídos aos critérios que originaram o novo critério, como foi o caso dos critérios:

- 1) *Índice de Custos;*
- 2) *Alterações no Meio Físico e;*
- 3) *Alterações na Vazão de Pico.*

Considerando o peso obtido para os objetivos, fez-se a correção dos valores dos critérios, para que fosse mantida a proporção de importância dos objetivos selecionados. Os valores obtidos para todos os critérios são descritos na Tabela 7.21.

Tabela 7.21. Pesos dos critérios de avaliação

CRITÉRIO		PESO INICIAL	PESO CORRIGIDO
C1	Atendimento a Legislação	3,85	17,16
C2	Índice de Custos	2,94	14,52
C3	Necessidade de intervenção na propriedade privada	2,75	5,21
C4	Aceitação Social do Sistema de Drenagem Urbana	2,46	4,66
C5	Riscos e Vulnerabilidade a Saúde Pública	2,50	3,56
C6	Controle de Poluição das Águas Pluviais Urbanas	2,96	5,60
C7	Controle sobre a Proliferação de Insetos	3,44	4,91
C8	Problemas de Odores	2,69	3,84
C9	Possibilidade de Utilização das Águas Pluviais Urbanas	2,96	4,22
C10	Uso de Princípios e Práticas Sustentáveis	3,06	5,42
C11	Escalonamento dos Objetivos ao longo do tempo	2,96	5,24
C12	Possibilidade de Monitoramento da Qualidade das Águas Pluviais Urbanas	2,92	5,17
C13	Alterações no Meio Físico	2,78	4,63
C14	Alterações na Vazão de Pico	3,25	5,42
C15	Tempo de Retorno de Projeto	3,13	5,22
C16	Confiabilidade	3,13	5,22
TOTAL		50,72	100,00

Esses valores podem ser alterados de acordo com as preferências dos atores envolvidos na avaliação.

7.8.4. Definição dos parâmetros utilizados nos métodos multicritério e multiobjetivo TOPSIS e ELECTRE TRI (4ª Etapa)

A determinação dos parâmetros de entrada do *ELECTRE TRI* pode ser feita segundo vários procedimentos baseados em diferentes relações de p/q e v/p . No item 5.2.1.1 são discutidas algumas considerações.

Brostel (2002) atribuiu um valor arbitrário para o limiar de indiferença q que associasse ao parâmetro a ideia de incerteza associada à avaliação. Desse valor de q , a autora obteve os demais valores para os limiares de preferência e veto, atendendo as relações p/q igual a 2,5 e v/p igual a 6,5.

Ribeiro (2003) adotou conduta semelhante, estabelecendo inicialmente o valor de q e obtendo os valores de p e v . Os valores adotados foram p/q igual a 3 e v/p igual a 7.

Castro (2007) utilizou indicadores em todos os critérios de sua avaliação. Assim, esse autor fixou o valor de q em 5% de diferença entre os valores calculados e as ações de referência. O limiar de preferência foi adotado seguindo o mesmo procedimento, estabelecendo a relação em 20%. O veto foi desconsiderado por ser analisado individualmente para cada critério.

Dessa maneira, optou-se por atribuir um valor inicial ao parâmetro q . O valor atribuído foi determinado conforme o percentual de 5% utilizado por Castro (2007) para os critérios que utilizam indicadores e, para os demais critérios foi considerado o valor mínimo que poderia diferenciar os desempenhos segundo as planilhas de avaliação. A partir desses valores, foram determinados os valores de p e q adotando a relação p/q igual a 3.

O limiar de veto foi desconsiderado na aplicação da metodologia devido ao fato de que as comparações são feitas entre o desempenho do sistema de drenagem e as ações de referências fictícias, não havendo necessidade de recusar o sistema em função de um critério discrepante qualquer, fato que em situações de seleção de alternativas, seria fundamental. A Tabela 7.22 apresenta os valores sugeridos para os limiares de indiferença (q) e de preferência (p).

Tabela 7.22. Parâmetros sugeridos para utilização do *ELECTRE TRI*

CRITÉRIO		MIN	MAX	LIMIARES	
				<i>q</i>	<i>p</i>
C1	<i>Atendimento a Legislação</i>	0	100	2	6
C2	<i>Índice de Custos</i>	0	2	0,1	0,3
C3	<i>Necessidade de intervenção na propriedade privada</i>	-1	0	0,05	0,15
C4	<i>Aceitação Social do Sistema de Drenagem Urbana</i>	0	100	7	21
C5	<i>Riscos e Vulnerabilidade a Saúde Pública</i>	0	100	2	6
C6	<i>Controle de Poluição das Águas Pluviais Urbanas</i>	0	1	0,05	0,15
C7	<i>Controle sobre a Proliferação de Insetos</i>	0	100	4	12
C8	<i>Problemas de Odores</i>	0	100	4	12
C9	<i>Possibilidade de Utilização das Águas Pluviais Urbanas</i>	0	1	0,1	0,3
C10	<i>Uso de Princípios e Práticas Sustentáveis</i>	0	100	2,5	7,5
C11	<i>Escalonamento dos Objetivos ao longo do tempo</i>	0	100	10	30
C12	<i>Possibilidade de Monitoramento da Qualidade das Águas Pluviais Urbanas</i>	0	100	15	45
C13	<i>Alterações no Meio Físico</i>	-2	2	0,2	0,6
C14	<i>Alterações na Vazão de Pico</i>	-2	2	0,2	0,6
C15	<i>Tempo de Retorno de Projeto</i>	0	1	0,05	0,15
C16	<i>Confiabilidade</i>	0	100	10	30

Para utilização do *TOPSIS*, é preciso determinar o valor do parâmetro p que faz menção ao tipo de distância avaliado. Os valores que podem ser assumidos são um, dois ou infinito. Especificamente, p reflete a importância que o decisor atribui aos desvios máximos. Se $p=1$, todos os desvios em relação ao ideal tem peso igual na determinação de L_p . Enquanto que $p=2$ implica em que os desvios possuem pesos proporcionais à sua magnitude. Por último, se $p=\infty$, o maior desvio recebe a máxima importância.

Na utilização da metodologia proposta, foi utilizado o valor de $p=2$ para que fossem atribuídos aos desvios pesos proporcionais à sua magnitude, embora não se espere grandes variações em função do valor de p , visto que os pesos dos critérios são muito próximos.

A modificação dos valores do parâmetro pode ser feita pelo analista de acordo com suas perspectivas. Essas relações apresentadas foram utilizadas na presente pesquisa.

7.8.5. Determinação dos desempenhos do sistema de drenagem urbana (5ª Etapa)

Amparados pelos desempenhos dos sistemas obtidos em cada critério e pelas condições estabelecidas na etapa anterior, decorrente do emprego dos métodos multicritério e

multiobjetivo *ELECTRE TRI* e o *TOPSIS*, procedeu-se a alocação do desempenho do sistema de drenagem urbana em análise, para cada uma das 6 (seis) dimensões estabelecidas: a legal, a econômica, a social, a ambiental, a de práticas sustentáveis e a técnica. Os resultados representaram os desempenhos parciais do sistema de drenagem urbana e forma utilizados para composição do relatório final de desempenho.

A utilização de dois métodos multicritério e multiobjetivo possibilitou a comparação dos resultados, o que permitiu aperfeiçoar a metodologia, além de permitir que o analista que se fizesse a opção por um dos dois métodos, de acordo com sua praticidade e experiência na utilização dos mesmos.

7.8.6. Determinação do desempenho global do sistema de drenagem urbana (6ª Etapa)

Os desempenhos do sistema de drenagem urbana nos critérios, associados às mesmas condições da etapa anterior, subsidiam os métodos multicritério e multiobjetivo no procedimento de alocação do desempenho global do sistema. O desempenho obtido representa o desempenho agregado nas 6 (seis) dimensões definidas, e é denominado de desempenho global.

7.8.7. Análise e apresentação dos resultados dos desempenhos parciais e final (7ª Etapa)

A partir dos resultados das etapas 5 (cinco) e 6 (seis), é desenvolvido um relatório preliminar para que se proceda a uma análise crítica dos resultados. Essa análise abordará a opinião dos avaliadores envolvidos com relação aos desempenhos do sistema em cada critério, bem como em relação aos desempenhos parciais e ao desempenho global. Por fim, os resultados da avaliação, após a consideração dos comentários feitos na análise crítica, irão compor o relatório final da avaliação de desempenho do sistema em análise.

8. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE APOIO

Para que se pudesse aplicar o procedimento de avaliação desenvolvido, deveria ser selecionado algum estudo de caso que permitisse a compreensão dos critérios e dos fatores que pudessem afetar e modificar a avaliação. O estudo de caso selecionado contempla uma área urbanizada do Município de Goiânia-GO, descrito por Milograna (2001), sendo posteriormente objeto de estudo em outras pesquisas da área de drenagem urbana, como nos trabalhos de Castro (2002 e 2007), Moura (2004) e Brito (2006). A apresentação do estudo de caso é mostrada a seguir.

8.1. ESTUDO DE CASO – REGIÃO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO VACA BRAVA, DA CIDADE DE GOIÂNIA-GO

A área de estudo faz parte de uma região bastante urbanizada no município de Goiânia-GO, e pertence a uma sub-bacia da bacia hidrográfica do córrego Vaca Brava. O córrego é o afluente mais extenso do córrego Cascavel, sendo que a maior parte de sua extensão está localizada em região nobre. Esse córrego chegou a ter as suas nascentes comprometidas por lançamentos das redes de esgoto sanitário, erosão e desmatamento.

A região selecionada para o estudo (Figura 8.1) é, como grande parte dessa bacia, intensamente ocupada e conta com aproximadamente 17 (dezessete) hectares de área, sendo comum encontrar lotes (aproximadamente 50% destes) com 100% da sua área impermeabilizada, ocupados por edifícios residenciais e comerciais.

Quando da ocorrência de eventos de precipitação intensa, os volumes gerados pelo escoamento superficial comprometem o trânsito e a segurança da população em diversos pontos da bacia hidrográfica do córrego Vaca Brava.

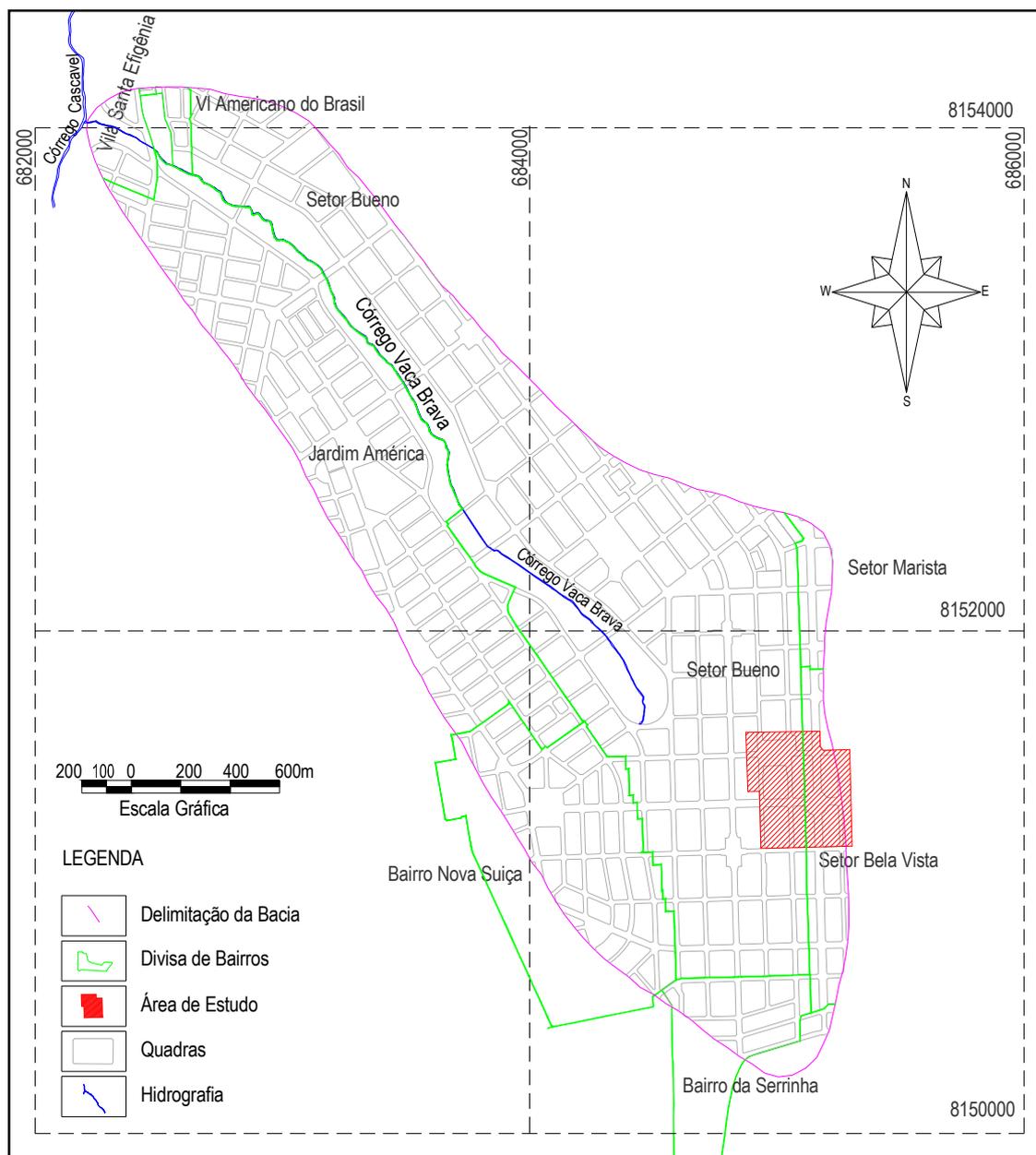


Figura 8.1. Localização da área de estudo (Adaptado de Milograna, 2001).

A bacia selecionada compreende parte de 6 (seis) bairros de Goiânia, nos quais se situavam duas praças: uma na Rua T-25 e outra no encontro das Avenidas T-63 e 85, utilizadas para a proposição de estruturas de retenção. Atualmente, a segunda praça foi substituída por um Viaduto, porém tal alteração não modifica o caráter experimental da aplicação da metodologia ao estudo de caso, uma vez que os dados levantados por Milograna (2001) são objetos de pesquisa de campo, com valores reais obtidos na época.

Esta área foi escolhida por se tratar de uma área já urbanizada e com projetos e estudos para a melhoria de sua drenagem, hoje bastante comprometida. Esses projetos incluem estudos com a utilização de técnicas clássicas de drenagem urbana e de alternativas, como a implantação de bacias de retenção nos lotes ou a utilização das praças como estruturas de controle.

Para que pudessem ser avaliados os impactos da intervenção, Milograna (2001) considerou um estado pré-urbanizado da área, admitindo que os lotes estivessem gramados e sem ocupação, com 100% de suas áreas permeáveis. Somente as vias existentes foram consideradas pavimentadas. Esse estado de urbanização foi comparado com um estado futuro, desenvolvido com base nas informações constantes no Plano Diretor Integrado de Goiânia (1992) e na Lei de Zoneamento e Uso do Solo (1994) para Goiânia, em que o índice médio de áreas impermeáveis é de 88%.

Para aplicação da metodologia de apoio proposta, foram considerados os 3 (três) cenários desenvolvidos por Milograna (2001), descritos a seguir:

- 1) Cenário I – Sistema clássico, com adoção de uma rede separadora clássica, sem respeitar as restrições de vazão máxima à jusante;
- 2) Cenário II – Sistema intermediário, com a incorporação de duas bacias de retenção em áreas públicas ao sistema clássico;
- 3) Cenário III – Sistema intermediário, com a incorporação ao sistema clássico de micro-reservatórios na saída de cada lote.

A Figura 8.2 apresenta um detalhamento da área de estudo.

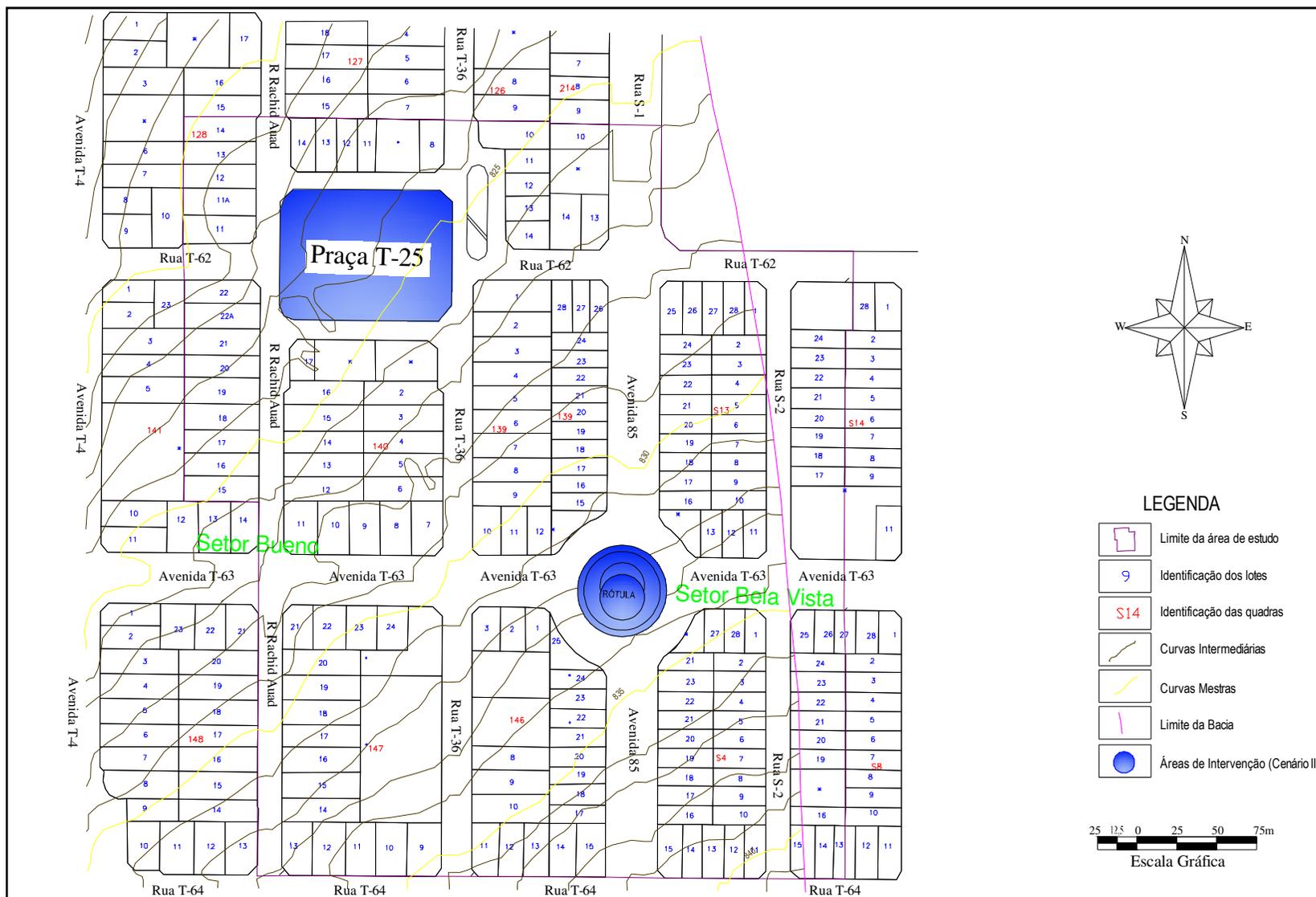


Figura 8.2. Detalhamento da área de estudo (Adaptado de Milograna, 2001).

8.2. AVALIAÇÃO DOS CENÁRIOS SOB OS DIFERENTES CRITÉRIOS

A aplicação da metodologia proposta no Sétimo Capítulo foi feita pelo analista. Foram levantados os dados descritos no Apêndice B e, em seguida, calculados os valores dos desempenhos individuais dos critérios, utilizando os indicadores de desempenho e as planilhas de avaliação.

8.2.1. Avaliação da Dimensão Legal

8.2.1.1. Atendimento à Legislação

Alguns aspectos dos 3 (três) cenários, apresentaram desempenho comum sob o ponto de vista legal. Todas as configurações possuem hipoteticamente licença ambiental e cumprem as recomendações contidas nessas licenças. Com relação ao atendimento dos padrões legais ambientais de lançamento em corpos d'água, estabelecidos pela resolução 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, pode-se considerar que os Cenários I e III não permitem avaliar a qualidade da água lançada, enquanto que o Cenário II permite que sejam todas ações para atender esses padrões. Na localidade há a existência de Plano de Águas Pluviais (do Município de Goiânia-GO) e todos os cenários estão parcialmente contextualizados. O mesmo acontece com o Plano Diretor do Município, em que os cenários apresentam compatibilidades diferenciadas aos sistemas de abastecimento de água, coleta de esgoto e resíduos sólidos. Em relação ao Código de Posturas Municipal, os 3 (três) cenários estão adaptados. Assim, a metodologia de apoio produziu para o critério de atendimento à legislação, os seguintes valores para os cenários: I (68,5), II (88,5) e III (68,5).

8.2.2. Avaliação da Dimensão Econômica

8.2.2.1. Índice de custos

Para avaliar a dimensão econômica é utilizado o índice de custos, que faz uso dos custos de implantação, manutenção e operação.

Custos de Implantação

Moura (2004) fez um levantamento dos quantitativos necessários para implantação dos diferentes cenários de drenagem urbana. A Tabela 8.1 descreve os quantitativos e os custos associados, considerando uma atualização dos valores obtidos, segundo o INCC da Fundação Getúlio Vargas do período entre Janeiro de 2000 e Junho de 2009, que corresponde a 86,56%.

Tabela 8.1. Quantitativos e custos de implantação associados aos cenários avaliados

Cenário	Item	Quantidade	Custo Total (R\$)	Custo Final (R\$)
I	Rede ϕ 300 mm	111,30 m	15.040,12	392.771,08
	Rede ϕ 400 mm	76,30 m	10.308,39	
	Rede ϕ 500 mm	143,80 m	73.669,67	
	Rede ϕ 600 mm	265,00 m	147.836,58	
	Rede ϕ 1000 mm	147,50 m	145.916,32	
II	Bacia de Detenção – Rótula Av. 85	744 m ³	161.702,74	585.520,42
	Bacia de Detenção – Praça T-25	1.950 m ³	423.817,68	
III	Microrreservatório de lote com área variável	194 un	567.965,78	567.965,78

Custos de Operação e Manutenção

Os custos de operação e manutenção para os três cenários correspondem somente aos custos de manutenção, pois os custos de operação foram considerados como desprezíveis, e foram obtidos por meio da atualização dos valores apresentados por Moura (2004) segundo o INCC no período (86,56%). A Tabela 8.2 mostra os valores corrigidos para os cenários.

Tabela 8.2. Quantitativos e custos de manutenção associados aos cenários avaliados

Cenário	Item	Quantidade	Custo Total (R\$)	Custo Final (R\$)
I	Rede ϕ 300 mm	111,30 m	1.280.312,73	1.280.312,73
	Rede ϕ 400 mm	76,30 m		
	Rede ϕ 500 mm	143,80 m		
	Rede ϕ 600 mm	265,00 m		
	Rede ϕ 1000 mm	147,50 m		
II	Bacia de Detenção Rótula Av. 85	744 m ³	525.273,95	525.273,95
	Bacia de Detenção – Praça T-25	1.950 m ³		
III	Microrreservatório de lote com área variável	194 un	183.985,94	183.985,94

Os custos de manutenção apresentados são os Valores Presentes Líquidos dos custos anuais de manutenção para um período de análise de 30 (trinta) anos. O cálculo do índice de custos foi feito segundo a equação 7.1. Os valores obtidos pela aplicação da metodologia proposta aos cenários, feita com utilização do índice de custos, foram os seguintes: Cenário I (0,704), Cenário II (1,061) e Cenário III (1,567).

8.2.3. Avaliação da Dimensão Social

8.2.3.1. Necessidade de Intervenção na Propriedade Privada

Para o cálculo desse critério, faz-se o uso de um indicador que considera a razão entre a área ocupada pelo sistema de drenagem urbana e a área de desapropriação necessária para instalação. Como a intervenção na propriedade é considerada uma ação inteiramente negativa, seu valor varia entre -1 (menos um) e 0 (zero). Os Cenários I e II são dispostos inteiramente em áreas públicas, o que produz um valor máximo igual a 0 (zero). Para o Cenário III, tem-se a pior situação, à medida que a instalação de todo o sistema é feito em área privada, produzindo o valor mínimo do indicador igual a -1 (menos um). Assim, a aplicação da metodologia produziu os seguintes valores: Cenário I (0), Cenário II (0) e Cenário III (-1).

8.2.3.2. Aceitação Social do Sistema de Drenagem Urbana

Como os cenários avaliados são hipotéticos, a discussão com a população pode ser feita ao longo de todo o processo para qualquer dos cenários. A única ressalva entre eles é a possibilidade de envolvimento da comunidade no processo de manutenção do sistema para o Cenário III, e a possibilidade de adaptação às necessidades da comunidade que pode ser feita para os Cenários II e III. Com base nessas considerações os valores obtidos pela aplicação da metodologia foram: Cenário I (40), Cenário II (60) e Cenário III (80).

8.2.3.3. Riscos e Vulnerabilidade a Saúde Pública

Para avaliação desse critério, o Cenário I é o que se mostra mais adequado, à medida que não há possibilidade de contato da água drenada com a população. Os Cenários II e III possuem características diferentes de abrangência e possibilidade de recuperação em casos de contaminação. Os desempenhos observados para os cenários pela aplicação da metodologia foram: I (74), II (30) e III (50).

8.2.4. Avaliação da Dimensão Ambiental

8.2.4.1. Controle de Poluição das Águas Pluviais Urbanas

Para o controle de poluição, o Cenário I é que apresenta pior desempenho, pois não possibilita qualquer tipo de controle. Os Cenários II e III possuem desempenho similares, sendo calculados com base no indicador I_{QA} , conforme a equação 6.4. A aplicação da metodologia produziu os seguintes valores: Cenário I (0), Cenário II (0,67) e Cenário III (0,67).

8.2.4.2. Controle sobre a Proliferação de Insetos

Com relação à proliferação de insetos, o Cenário I é o mais adequado, visto que não há exposição da água ao ambiente. O Cenário II é o mais vulnerável, enquanto que o Cenário III apresenta desempenho intermediário. Os valores foram obtidos com base na importância do impacto, na possibilidade de ocorrência e nos parâmetros associados à reversibilidade. Os resultados foram: Cenário I (100), Cenário II (22) e Cenário III (30).

8.2.4.3. Problemas de Odores

Assim como o critério anterior, para este, o Cenário I apresenta melhores resultados. Os Cenários II e III apresentam desempenhos semelhantes. A metodologia proposta produziu os seguintes resultados: Cenário I (100), Cenário II (60) e Cenário III (63).

8.2.5. Avaliação da Dimensão de Práticas Sustentáveis

8.2.5.1. Uso de Princípios e Práticas Sustentáveis

Os aspectos utilizados para a avaliação desse critério estão relacionados à sustentabilidade ecológica, social e econômica. Os valores obtidos para os 3 (três) cenários foram relativamente próximos, uma vez que a avaliação considera prioritariamente fatores associados à localidade do sistema de drenagem urbana. Como resultado da metodologia proposta, tem-se: Cenário I (21), Cenário II (35,5) e Cenário III (43,5).

8.2.5.2. Possibilidade de Utilização das Águas Pluviais Urbanas

Para avaliação desse critério, fez-se a determinação do volume que seria demandado pela população beneficiada pelo Sistema de Drenagem Urbana. Considerando que a área de estudo possui aproximadamente 17 (dezesete) hectares com uma densidade média de 430 habitantes por hectare, a população atendida é de 7.310 habitantes. Adotando um consumo de água para usos não potáveis de 2,81 m³/(habitante.mês) (Tomaz, 2000), o volume demandado corresponde a 20.541,10 m³/mês.

Para o Cenário I não existe a possibilidade de armazenamento de água, logo o valor do indicador para esse cenário será igual ao valor mínimo do indicador, ou seja, 0 (zero). Para os demais cenários, faz-se o cálculo do volume armazenado segundo a equação 6.5.

Para o Cenário II, se tem como dados de entrada a área de coleta do sistema que corresponde a 2.750m², um valor médio de precipitação na região de estudo de 137,72 mm/mês (média mensal nos anos de 1999 a 2004) (Brito, 2006) e um coeficiente de escoamento superficial de 0,8 (bacia de concreto). Assim, o volume armazenado é de 302,98m³/mês. Para o Cenário III conservam-se os valores referentes à precipitação e ao coeficiente de escoamento superficial, já a área de coleta corresponde a 2.493,62m² que produz um armazenamento mensal de 274,74 m³. Assim, é possível obter os valores

do indicador de utilização das águas pluviais (I_{UAP}) utilizando a equação 7.6 e obtendo os seguintes resultados: Cenário I (0), Cenário II (0,015) e Cenário III (0,013).

8.2.5.3. Escalonamento dos objetivos ao longo do tempo

Na avaliação da possibilidade de escalonamento dos objetivos ao longo do tempo, o Cenário I foi o que apresentou o pior desempenho, devido à impossibilidade de investimentos progressivos, já os cenários II e III apresentaram resultados melhores respectivamente. A aplicação da metodologia produziu os seguintes valores: Cenário I (0), Cenário II (80) e Cenário III (100).

8.2.5.4. Possibilidade de Monitoramento da Qualidade das Águas Pluviais Urbanas

O critério avaliado indica melhores desempenhos para os Cenários II e III, que possuem em sua concepção mecanismos de armazenamento de água, em relação ao desempenho do Cenário I. A avaliação é feita basicamente sob a possibilidade de armazenamento de água das chuvas, que possibilita a análise da qualidade e o comprometimento do sistema. Os valores obtidos pela aplicação da metodologia foram: Cenário I (0), Cenário II (80) e Cenário III (100).

8.2.6. Avaliação da Dimensão Técnica

8.2.6.1. Alterações no Meio Físico

O cálculo do indicador de alteração do meio físico (I_{AMF}) é feito pela equação 7.7. Para avaliar o presente critério, foi feito o uso de dados referentes às áreas verdes, permeáveis e impermeáveis levantados por Brito (2006). A Tabela 8.3 descreve esses dados.

Tabela 8.3. Caracterização das Áreas Existentes

LOCAL	DESCRIÇÃO	Área (m ²)
Lotes	Área impermeável	82.247,98
	Área permeável	25.300,65
Áreas Públicas	Vias pavimentadas	54.170,51
	Área da Praça da Rua T-25 (Área Verde)	8.555,420
	Área da Rótula da Av. 85 (Área Verde)	2.250,00
Área Impermeável		136.418,490
Área Permeável		36.106,07
Área Total		172.524,56

Algumas considerações adotadas por Brito (2006) foram utilizadas para o cálculo das áreas:

- 1) As áreas verdes foram consideradas como sendo as áreas da praça e da rótula;
- 2) As áreas não construídas dos lotes, ou seja, as partes permeáveis foram consideradas sem cobertura verde;
- 3) A área da bacia de retenção na praça é de 1.950 m² e da bacia na rótula é de 800m²;
- 4) As áreas dos microrreservatórios implantados foram estipuladas de acordo com o tipo de lote e classificados segundo suas dimensões, conforme o trabalho realizado por Milograna (2001) e totalizaram 2.493,62 m², ficando um total de área permeável remanescente nos lotes de 23.524,53m². Nos lotes em que a área impermeável era de 100% a implantação dos microrreservatórios não contribuiu para o aumento da área impermeável.

Segundo Brito (2006), o Cenário I, sistema clássico, foi construído sob as ruas pavimentadas, não alterando a quantidade de áreas impermeáveis antes e depois da implantação do sistema. O mesmo ocorre para as áreas verdes e áreas permeáveis. Para a configuração que contempla a instalação de duas bacias de retenção, Cenário II, houve um acréscimo de área impermeável correspondente a área das bacias e conseqüentemente uma redução de áreas verdes na mesma proporção. Por fim, a implantação de microrreservatórios nos lotes, Cenário III, acarretou um aumento na área impermeável, e não afetou a proporção de área verde dispostas somente em áreas públicas. A Tabela 8.4 apresenta os valores obtidos para as áreas impermeáveis e áreas verdes.

Tabela 8.4. Relação de áreas impermeáveis e áreas verdes antes e depois da implantação dos sistemas de drenagem urbana

CENÁRIO	Área Impermeável (m ²)		Área Verde (m ²)	
	Antes	Depois	Antes	Depois
I	136.418,490	136.418,490	10.805,420	10.805,420
II	136.418,490	139.168,49	10.805,420	8.055,420
III	136.418,490	138.194,61	10.805,420	10.805,420

A aplicação da metodologia de apoio produziu os seguintes resultados: Cenário I (0), Cenário II (-0,28) e Cenário III (-0,02).

8.2.6.2. Alterações na Vazão de Pico

O presente critério avalia as alterações produzidas na vazão de pico e no tempo até o pico de vazão, provocadas pela implantação do sistema de drenagem urbana. Para avaliar esse critério é utilizado o indicador de variação na vazão de pico (I_{VVP}), descrito pela equação 6.8. A vazão de jusante estimada para uma situação de pré-urbanização foi de 2,725m³/s, com tempo de pico correspondente a 15 minutos, considerando um tempo de retorno de 5 anos.

O Cenário I foi desenvolvido segundo mecanismos clássicos de drenagem urbana, com um sistema de redes que direciona toda a água escoada para um único exutório de jusante, em função do talvegue de escoamento do córrego existente. As simulações realizadas por Milograna (2001) determinaram uma vazão de jusante de 4,370 m³/s para o mesmo tempo de retorno de 5 (cinco) anos. O tempo ao pico foi reduzido para 11 minutos após a implantação do sistema clássico.

O Cenário II, que considerou a existência das redes de drenagem descritas no Cenário I, conta com a incorporação de duas bacias de retenção, uma na praça da Rua T-25 e outra na rótula do encontro das Avenidas 85 e T-63. Na simulação hidrológica realizada por Milograna (2001), o hidrograma amortecido pelo primeiro reservatório entrou novamente na rede de drenagem, continuando a propagação do escoamento no restante da área. A Praça da T-25, como reservatório de jusante, foi a estrutura de retenção para o hidrograma final de propagação. Essa configuração possibilitou uma determinação da

vazão de pico de 2,457m³/s, valor inferior à vazão da condição pré-urbanizada. O tempo ao pico passou a ser de 21(vinte e um) minutos após a intervenção.

O Cenário III, que conta com a manutenção da rede de drenagem existente, apresenta a incorporação de microrreservatórios de lote com a finalidade de reduzir a vazão de pico. Segundo Milograna (2001), o amortecimento provocado pelos microrreservatórios produziu uma vazão reduzida de 2,540m³/s. O tempo até o pico de vazão foi de 16 minutos. A Tabela 8.5 descreve as alterações na vazão provocadas pelos sistemas de drenagem urbana.

Tabela 8.5. Alterações na vazão de pico provocadas pela implantação dos sistemas de drenagem urbana

CENÁRIO	Vazão de Pico (m ³ /s)		Tempo ao Pico de Vazão (min)	
	Antes	Depois	Antes	Depois
I	2,725	4,370	15	11
II	2,725	2,457	15	21
III	2,725	2,540	15	16

Os resultados obtidos pela aplicação da metodologia de apoio foram: Cenário I (-0,61), Cenário II (0,50) e Cenário III (0,14).

8.2.6.3. Tempo de Retorno previsto para Inundações dentro da Área de Projeto

Para garantir a minimização dos riscos de inundação na área atendida pelo sistema de drenagem urbana, o tempo de retorno do sistema é comparado ao tempo de retorno do projeto. Para a microdrenagem de áreas urbanas, os tempos de retorno recomendados variam de 2 (dois) a 10 (dez) anos (Milograna, 2001). Para ocupação residencial e comercial, como é o caso da área de estudo, o tempo de retorno recomendado é de 5 (cinco) anos, tendo sido, portanto, o adotado. Para todos os cenários descritos o valor obtido pela aplicação da metodologia de apoio para o critério foi máximo, igual a 1 (um).

8.6.2.4. Confiabilidade

A avaliação da confiabilidade do sistema de drenagem urbana leva em consideração a complexidade de monitoramento do funcionamento do sistema, a possibilidade de ações corretivas para prever antecipadamente a ocorrência de falhas e os riscos de comprometimento das funções do sistema. Assim, o Cenário III mostrou-se mais adequado, seguido pelo Cenário II com o sistema contemplado no Cenário I sendo o mais vulnerável. Os resultados da aplicação da metodologia foram: Cenário I (40), Cenário II (60) e Cenário III (90).

8.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CENÁRIO I

Para auxiliar na análise do desempenho do Cenário I, são apresentados respectivamente nas Figuras 8.3 e 8.4 seus desempenhos individuais sob diferentes critérios, e também os desempenhos segundo as 6 (seis) dimensões e ainda de acordo com o desempenho global.

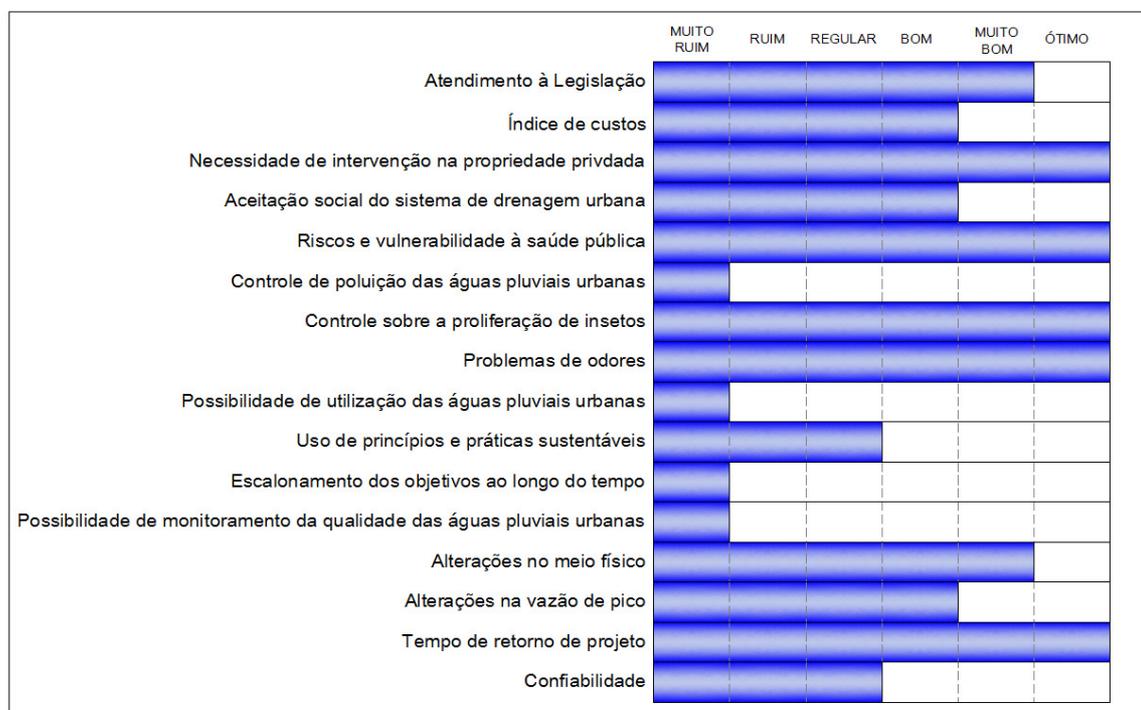


Figura 8.3. Desempenhos individuais do Cenário I sob os critérios de avaliação

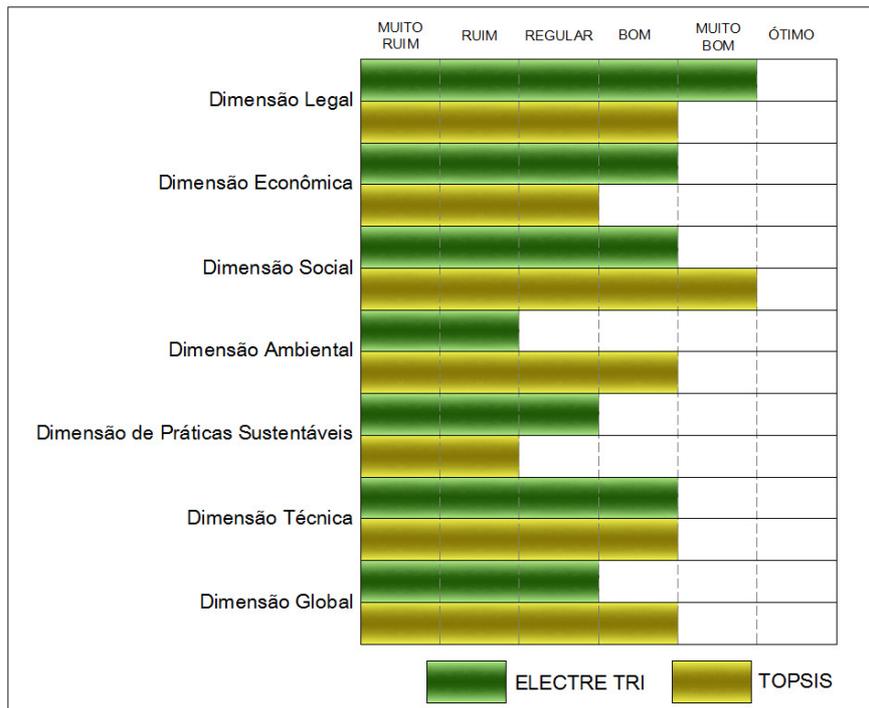


Figura 8.4. Desempenhos Finais do Cenário I

Percebe-se, com base nos resultados obtidos, que o Cenário I apresenta aspectos deficientes, principalmente, no que diz respeito às dimensões ambientais e de práticas sustentáveis. Por outro lado, os desempenhos legais e sociais são satisfatórios.

Atualmente, a utilização de um sistema que não permite o controle da qualidade da água é uma situação que denota a necessidade de mudança. O que poderia ser feito em relação a esse cenário, para que houvesse uma melhoria em seu desempenho ambiental, poderia ser a incorporação de técnicas compensatórias que possuam mecanismos de retenção de água e eventualmente mecanismos de infiltração.

Em relação aos aspectos de sustentabilidade, as intervenções parecem limitadas, uma vez que os conceitos de canalização utilizados no cenário são praticamente incompatíveis com investimentos progressivos e com o monitoramento da qualidade das águas. Dessa maneira, propõem-se modificações na gestão das águas pluviais e na participação da sociedade na busca de alternativas que melhorem as condições das águas pluviais por meio de conscientização da população, para que haja maior limpeza

no sistema de drenagem e aumento das áreas permeáveis nas propriedades para amenizar os impactos das inundações.

Com relação aos desempenhos que se mostraram satisfatórios, vale ressaltar o ponto de vista social, que se mostra perfeitamente adaptado ao conceito higienista que visa o rápido escoamento pluvial urbano causado pelas técnicas de canalizações aplicadas no cenário. Em uma análise mais complexa, poderiam ser consideradas as populações de jusante, o que fatalmente reduziria o desempenho social do cenário, devido às possíveis consequências causadas em decorrência da intervenção.

O atendimento à legislação é praticamente uma obrigatoriedade para todos os cenários, o que exige desempenhos razoáveis. O comprometimento do atendimento da legislação é relativamente baixo para esse tipo de cenário. O confinamento da água nas redes tradicionais do sistema separador previne a ocorrência de proliferação de insetos e problemas de odores. Os padrões de lançamento produzidos pelo sistema de drenagem urbana nos corpos receptores não pode ser medido, fato que deve ser tratado com prudência para não comprometer a qualidade das águas da área afetada.

Globalmente, o cenário apresentou desempenho “*regular*” com aplicação do *ELECTRE TRI* e “*bom*” com aplicação do *TOPSIS*. Esse desempenho reflete uma aceitabilidade do sistema com algumas ressalvas. Por se tratar de uma opção tecnologicamente defasada, os resultados são relativamente satisfatórios, oferecendo um nível razoável de segurança à população e de funcionalidade do sistema. De toda forma, a avaliação permitiu identificar os pontos mais vulneráveis do sistema, pontos estes que devem ser objetos de ações coletivas dos atores da drenagem urbana para reduzir os seus efeitos negativos.

8.4. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CENÁRIO II

Para que se possam apresentar discussões à respeito dos resultados obtidos pelo Cenário II são apresentadas as Figuras 8.5 e 8.6.

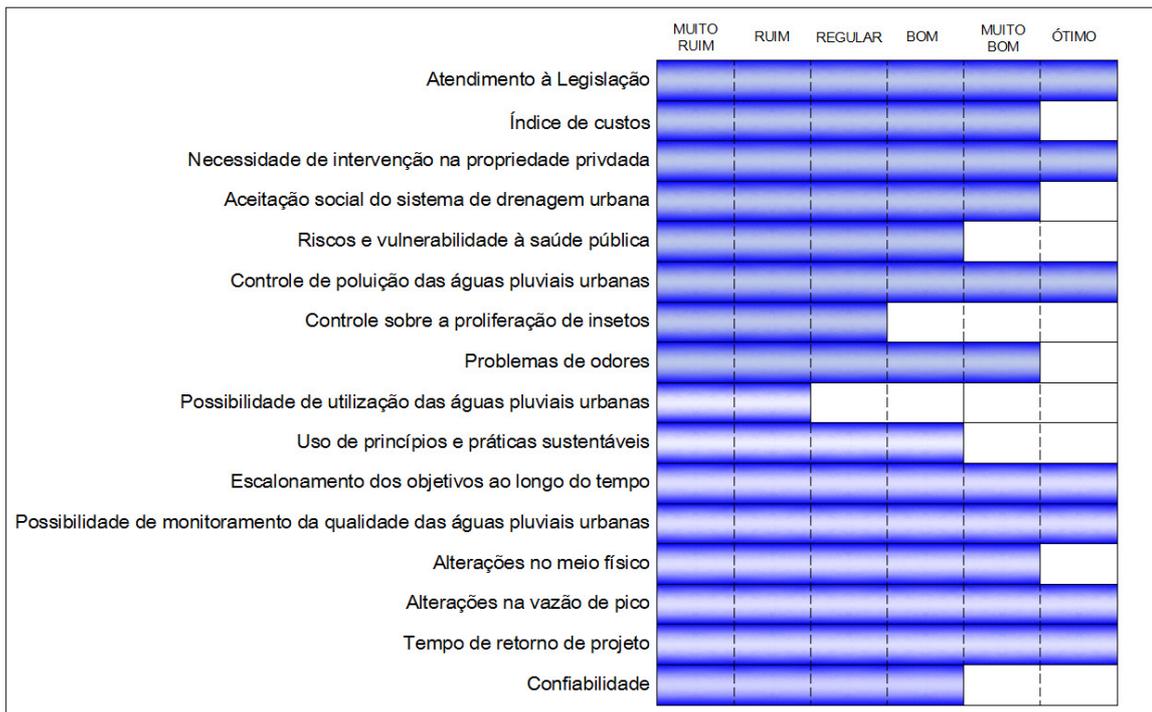


Figura 8.5. Desempenhos individuais do Cenário II sob os critérios de avaliação

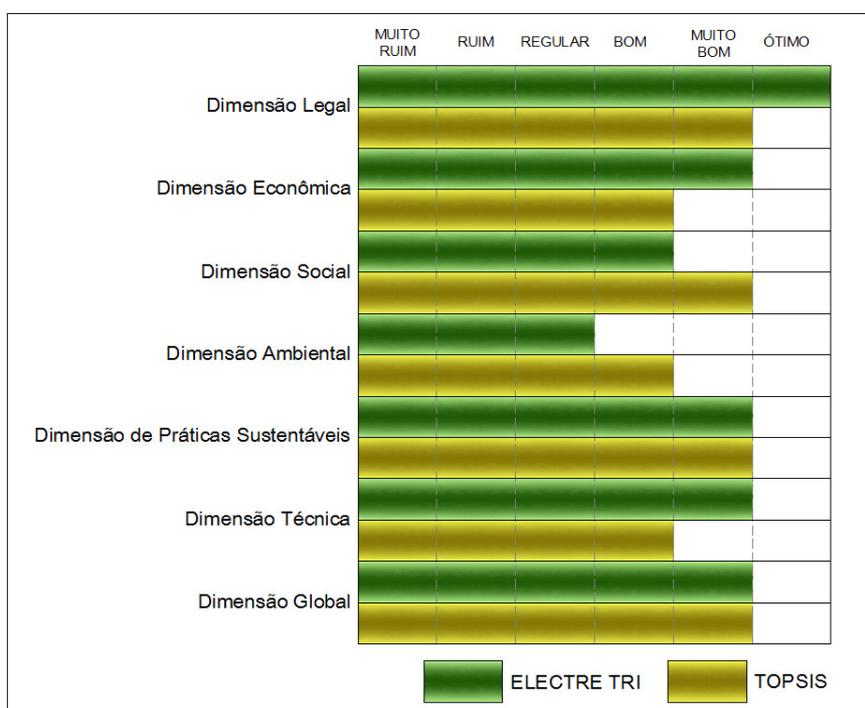


Figura 8.6. Desempenhos Finais do Cenário II

O Cenário II, que conta com a incorporação de duas bacias de detenção ao sistema clássico com rede separadora de águas pluviais, apresenta bons desempenhos individuais e agregados.

O único critério em que o ele apresentou desempenho ruim, foi o critério que avalia a possibilidade de utilização das águas pluviais urbanas, critério que deve ser revisto, uma vez que resultou em desempenhos insignificantes para todas as configurações de cenários.

Na avaliação das dimensões, pode-se citar como mais deficiente o desempenho ambiental. Tal desempenho justifica-se pela possibilidade de proliferação de insetos e dos problemas de odores, que podem ocorrer pela detenção da água nas bacias por períodos prolongados. Esses efeitos podem ser afetados pelas condições climáticas da região, pelo nível de educação ambiental dos usuários e pela eficiência da manutenção e operação do sistema. Uma boa educação, combinada a um sistema eficiente de limpeza de manutenção e operação, praticamente descarta o risco de problemas associados a insetos e odores.

Em todas as outras dimensões, os resultados mostraram-se bastante satisfatórios, o que confirma a tendência mundial de adoção de medidas compensatórias que estejam inseridas adequadamente ao ambiente urbano.

Um dos aspectos que merece destaque para esse cenário, é a igualdade de desempenho global na utilização dos dois métodos multicritério e multiobjetivo que enquadraram o cenário como “*muito bom*”. Tal resultado permite afirmar com maior segurança a qualidade da alternativa composta por um sistema intermediário para a aplicação na região de estudo, que reduz os impactos de vazão e possibilita um convívio sustentável entre sistema de drenagem urbana e sociedade.

8.5. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO CENÁRIO III

As Figuras 8.7 e 8.8 apresentam os desempenhos obtidos pelo Cenário III.

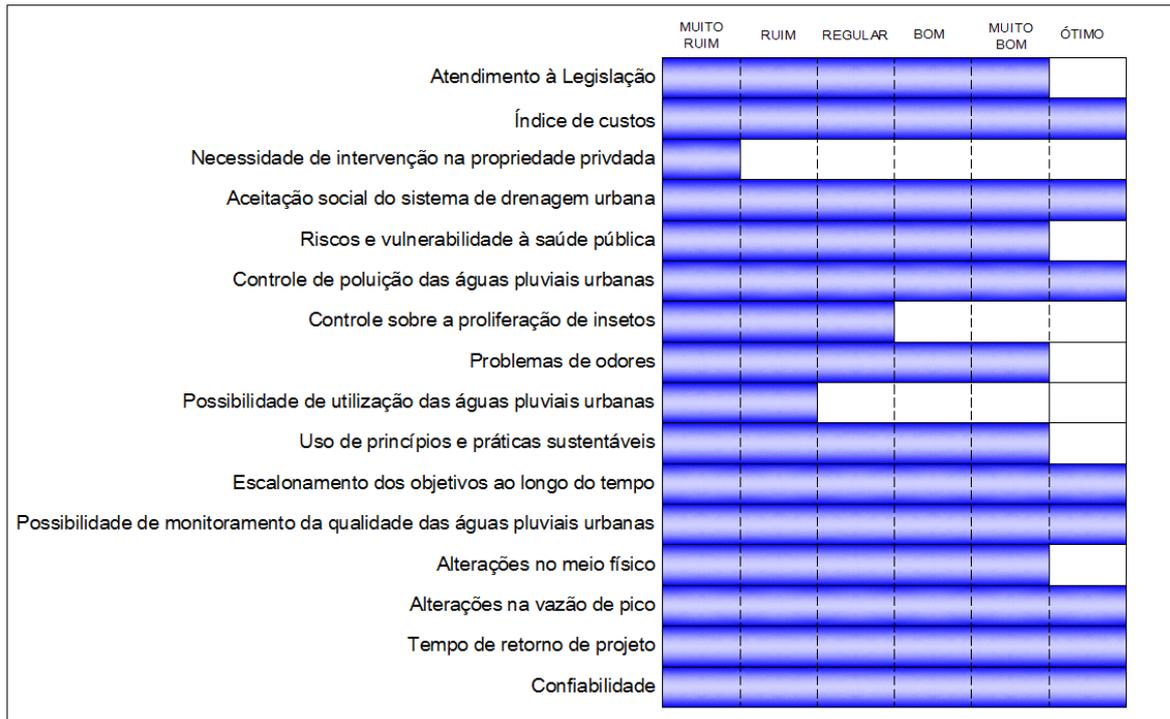


Figura 8.7. Desempenhos individuais do Cenário III sob os critérios de avaliação

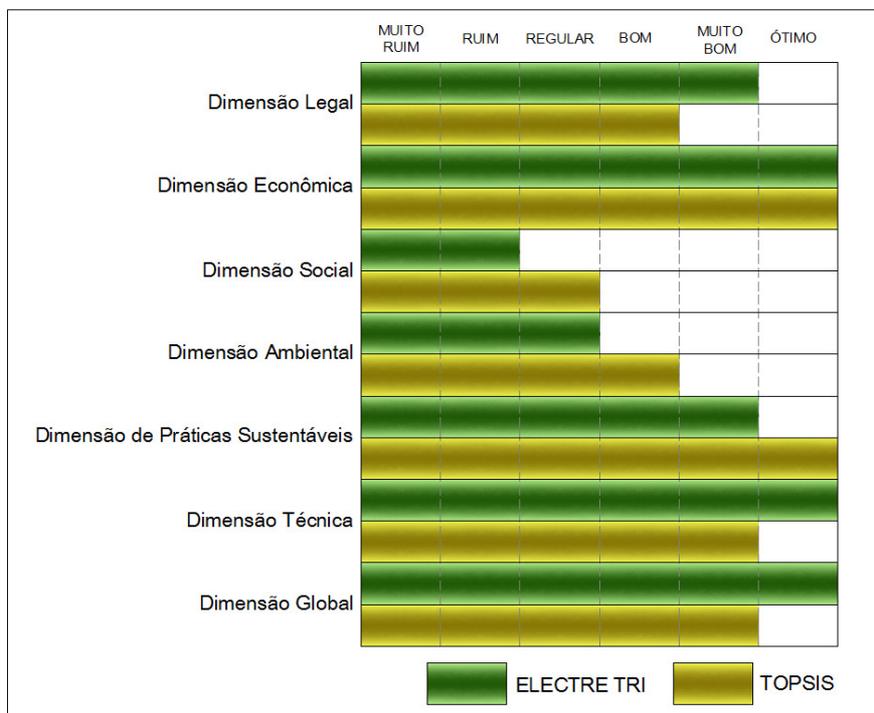


Figura 8.8. Desempenhos Finais do Cenário III

O Cenário III, que propõe a instalação de microreservatórios nos lotes em complementação ao sistema tradicional de rede de drenagem, apresenta bons desempenhos em praticamente todos os aspectos.

A maior fragilidade do sistema é a necessidade de intervenção na propriedade privada. Nos dias atuais, esse tipo de intervenção depende inteiramente da colaboração da população, que tem plena liberdade em escolher aderir ou não a proposta de manejo de águas pluviais urbanas com esse tipo de intervenção. Mecanismos para premiar os usuários que contribuam com o sistema de drenagem, como descontos nos impostos territoriais e outras vantagens, podem facilitar o adequado funcionamento do sistema.

Com relação ao desempenho ambiental, uma forma de se aperfeiçoar o desempenho seria a promoção por parte dos gestores das águas pluviais de cursos e serviços aos usuários do sistema, para que houvesse a correta manutenção e operação dos microreservatórios, com limpezas periódicas e verificação das condições de funcionamento.

As principais vantagens observadas, neste cenário, estão associadas aos aspectos econômicos, de práticas sustentáveis, e técnicos. Os custos deste cenário são baixos em relação às demais alternativas. Com relação às práticas sustentáveis, pode-se destacar que esse tipo de cenário não altera o ambiente urbano, além de permitir o controle e monitoramento da qualidade das águas pluviais. A amortização da vazão e do tempo ao pico de vazão são os principais fatores para garantir o bom desempenho técnico do cenário.

As avaliações do Cenário III resultaram em desempenho global “*muito bom*” e “*ótimo*” com aplicação do *TOPSIS* e *ELECTRE TRI*, respectivamente. Seguramente, a aplicação desse cenário produziria bons resultados na prevenção de inundações, na promoção de sustentabilidade e na aplicação eficiente dos recursos destinados à gestão das águas pluviais.

8.6. COMPARAÇÃO DOS DESEMPENHOS DOS TRÊS CENÁRIOS AVALIADOS

Para comparar os resultados obtidos pelos três cenários avaliados, são apresentados os gráficos a seguir (Figura 8.9 e 8.10).

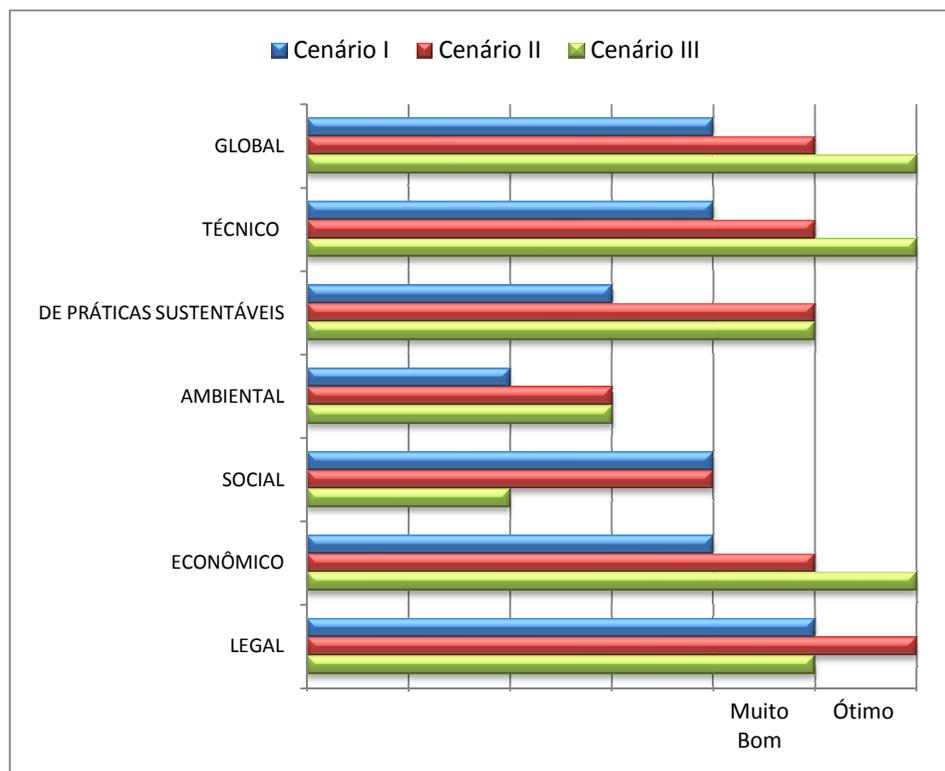


Figura 8.9. Comparação dos desempenhos dos cenários com utilização do *ELECTRE TRI*

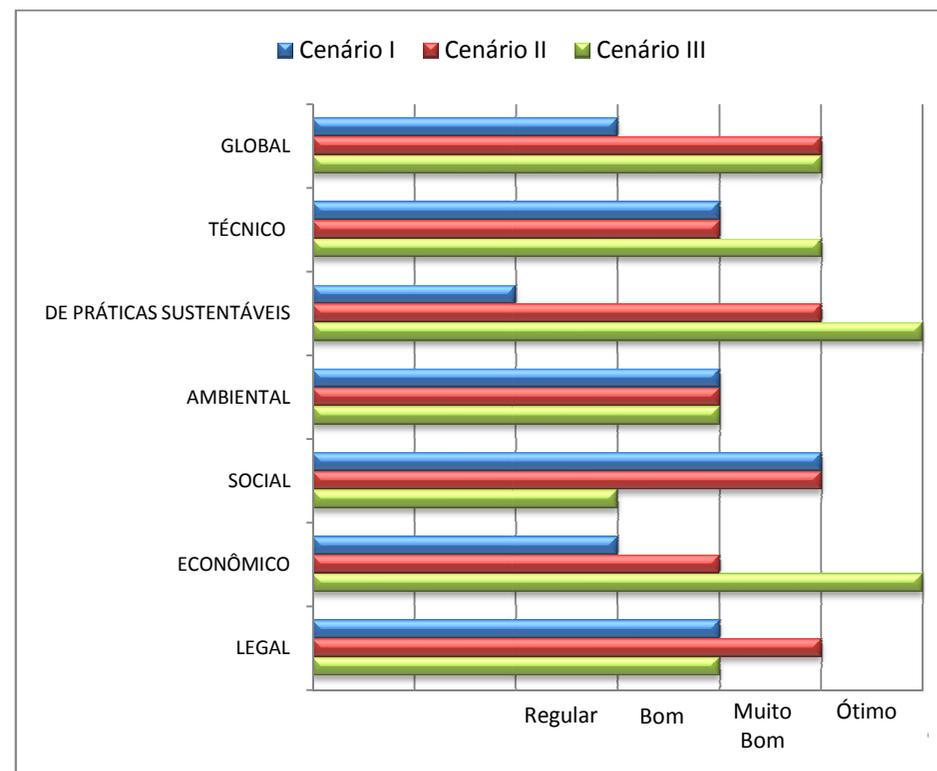


Figura 8.10. Comparação dos desempenhos dos cenários com utilização do *TOPSIS*

Independentemente do método multicritério e multiobjetivo aplicado na avaliação de desempenho, pode-se afirmar que globalmente o Cenário III é o mais adequado para aplicação na área de estudo, seguido pelo Cenário II, e mostrando-se o Cenário I como o mais limitado. Tal resultado é compreensível pelo fato de que os Cenários II e III aperfeiçoam o funcionamento do Cenário I.

Tecnicamente, os Cenários II e III apresentam-se mais eficientes do que o Cenário I, principalmente em função do amortecimento da vazão de pico e do retardamento do tempo até o pico de vazão.

Na avaliação da dimensão de práticas sustentáveis, percebe-se que a adoção das medidas compensatórias aumenta consideravelmente os desempenhos dos Cenários II e III, por permitirem o monitoramento da qualidade da água, o planejamento de investimentos progressivos e o maior entendimento do sistema por parte da população.

Sob o aspecto ambiental, praticamente não há diferença de desempenho entre os 3 (três) cenários. Todos podem ser considerados bons depois da agregação dos critérios de avaliação. Essa similaridade de desempenho é desmascarada na medida em que se faz a análise isolada dos critérios ambientais. O Cenário I tem como vantagem ambiental a não-exposição da população às águas drenadas, o que diminui a possibilidade de proliferação de insetos e ocorrência de problemas de odores. Em contrapartida, os Cenários II e III apresentam como grande vantagem ambiental a possibilidade de controle da qualidade da água, o que auxilia na proteção dos cursos d'água e das águas subterrâneas.

Os Cenários I e II apresentam melhores desempenhos sociais do que o Cenário III, fato que se justifica pela não-necessidade de intervenção na propriedade privada. Além disso, o Cenário I tem a aparente vantagem de não expor a população ao contato com as águas pluviais urbanas, que são rapidamente transportadas, levando os problemas para jusante. Considerar a população de jusante que seria afetada, fatalmente reduziria o desempenho do Cenário I.

Sob a avaliação da dimensão econômica, sugere-se a adoção do Cenário III ao invés do Cenário II, a adoção do Cenário II ao invés do Cenário I. Os custos de implantação e manutenção para o Cenário III são inferiores quando analisados para o mesmo período de vida útil.

Sob o aspecto legal, todos os cenários apresentaram resultados satisfatórios, na medida em que o cumprimento da legislação é uma premissa para a adoção do sistema de drenagem urbana. Contudo, o Cenário II apresenta algumas vantagens em relação aos demais, devido à sua adaptação ao ambiente urbano e aos menores riscos de comprometimento dos padrões de qualidade da água.

Milograna (2001) descreve que a alternativa proposta pelo Cenário II seria a melhor situação quando analisados os critérios técnicos e que no estudo eram basicamente os fatores associados às variações nas vazões, o que não minimizava o bom desempenho do Cenário III.

Castro (2002) fez usos dos mesmos cenários para ordenamento das alternativas, utilizando indicadores para avaliar os critérios denominados “*objetivos*”, “*impactos da obra*” e “*inserção da obra*” e aplicou dois métodos multicritério e multiobjetivo, a *Programação de Compromisso* e o *ELECTRE III*. O primeiro método elegeu como melhor alternativa o Cenário III, seguido pelo Cenário II e por fim o Cenário I. Utilizando o *ELECTRE III*, não foi possível determinar uma clara preferência entre os Cenários II e III, que ficaram melhor classificados do que o Cenário I, nesse estudo.

Moura (2004) desenvolveu uma metodologia para o cruzamento de informações financeiras e de desempenho. Para tanto, essa autora desenvolveu um indicador de desempenho originado pela agregação dos indicadores utilizados por Castro (2002) e outro de custos de implantação, manutenção e operação para diferentes sistemas de drenagem urbana. Os resultados foram apresentados em um Gráfico de Pareto para seleção da melhor alternativa. O Cenário III foi o que apresentou os melhores resultados, seguido pelo Cenário II devido ao seu melhor resultado com relação aos custos enquanto que os desempenhos foram similares. Tal fato justifica-se pelos

elevados custos de manutenção do sistema com duas bacias de detenção. O Cenário I apresentou os piores índices de desempenho e custo.

Brito (2006) aplicou a *Programação de Compromisso* para o mesmo estudo de caso com o auxílio de 9 (nove) indicadores. Os resultados mostraram-se robustos e com baixa sensibilidade a variações de peso. O ordenamento final estabelecia uma sutil preferência do Cenário III em relação ao Cenário II e ambos preferíveis em relação ao Cenário I.

Castro (2007) aplicou os métodos multicritério e multiobjetivo *TOPSIS* e *ELECTRE TRI* para avaliar os efeitos da urbanização nos corpos d'água. Para os estudos de caso selecionados, inclusive o da sub-bacia do córrego Vaca Brava da cidade de Goiânia, foram utilizados 10 (dez) indicadores. O autor realizou diversas simulações com pesos variados, diversos valores de parâmetros dos métodos e outras considerações que permitiram afirmar que os cenários mais aceitáveis para a região são os Cenários II e III. Na pesquisa em questão, alguns resultados indicam que o Cenário I é inadequado para a localidade.

Com base nos resultados obtidos nas pesquisas anteriores, pode-se afirmar que a metodologia aplicada produziu resultados coerentes. Indicando a preferência de aplicação pelos Cenários II e III, que se alternam em desempenho de acordo com o ponto de vista abordado. O Cenário I apresenta, em qualquer dos trabalhos, os piores resultados, evidenciando a tendência de utilização de medidas compensatórias.

8.7. VERIFICAÇÃO DA PERTINÊNCIA DOS MÉTODOS MULTI OBJETIVO E MULTICRITÉRIO *TOPSIS* E *ELECTRE TRI*

A utilização dos métodos *TOPSIS* e *ELECTRE TRI* pode ser considerada adequada a esse tipo de aplicação, em que se espera medir desempenhos dos sistemas de drenagem urbana. Os métodos apresentam procedimentos de análise distintos, o que permitiu comparar os resultados obtidos. Enquanto o *ELECTRE TRI* utiliza a problemática de decisão do tipo β , de alocação de alternativas, o *TOPSIS* é um método utilizado para

problemática do tipo α , de seleção de alternativas, que adaptado, permitiu também alocar os sistemas de drenagem urbana em categorias de desempenho.

Para ambos os métodos, as variações nos valores dos pesos produziram poucas alterações nos resultados, fato que pode ser justificado pela proximidade dos valores dos pesos obtidos pela consulta a especialistas. As Tabelas 8.6 e 8.7 apresentam os resultados obtidos com os pesos pesquisados e com pesos iguais para todos os critérios, utilizando o *TOPSIS* e o *ELECTRE TRI*, respectivamente.

Tabela 8.6. Desempenho dos cenários avaliados em função das variações nos pesos dos critérios com aplicação do *TOPSIS*

DIMENSÃO	CENÁRIO I		CENÁRIO II		CENÁRIO III	
	<i>Pesos diferentes</i>	<i>Pesos iguais</i>	<i>Pesos diferentes</i>	<i>Pesos iguais</i>	<i>Pesos diferentes</i>	<i>Pesos iguais</i>
<i>Legal</i>	Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Bom	Bom
<i>Econômica</i>	Regular	Regular	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo
<i>Social</i>	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Bom	Regular	Regular
<i>Ambiental</i>	Bom	Bom	Bom	Regular	Bom	Bom
<i>De práticas sustentáveis</i>	Ruim	Ruim	Muito Bom	Muito Bom	Ótimo	Ótimo
<i>Técnica</i>	Bom	Bom	Bom	Bom	Muito Bom	Bom
<i>Global</i>	Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom

Tabela 8.7. Desempenho dos cenários avaliados em função das variações nos pesos dos critérios com aplicação do *ELECTRE TRI*

DIMENSÃO	CENÁRIO I		CENÁRIO II		CENÁRIO III	
	<i>Pesos diferentes</i>	<i>Pesos iguais</i>	<i>Pesos diferentes</i>	<i>Pesos iguais</i>	<i>Pesos diferentes</i>	<i>Pesos iguais</i>
<i>Legal</i>	Muito Bom	Muito Bom	Ótimo	Ótimo	Muito Bom	Muito Bom
<i>Econômica</i>	Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Ótimo	Ótimo
<i>Social</i>	Bom	Bom	Bom	Bom	Ruim	Ruim
<i>Ambiental</i>	Ruim	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
<i>De práticas sustentáveis</i>	Regular	Ruim	Muito Bom	Bom	Muito Bom	Bom
<i>Técnica</i>	Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Ótimo	Muito Bom
<i>Global</i>	Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Ótimo	Muito Bom

O *TOPSIS* utiliza uma função de utilidade multiatributo na qual se obtém a *taxa de similitude* para cada alternativa avaliada, e se procede à comparação desse valor com um valor estabelecido para a alternativa fictícia. Os critérios não são comparados individualmente com a alternativa fictícia, mas sim a resultante global da análise para cada dimensão. Em sua aplicação foram alterados os valores do parâmetro p , que poderia variar entre 1(um), 2 (dois) e ∞ (infinito). Os valores obtidos para os desempenhos dos cenários apresentaram variações insignificantes em função da alteração de p . Os desempenhos obtidos em função da variação do parâmetro p são apresentados na Tabela 8.8.

Tabela 8.8. Resultados da avaliação de desempenho com variação do parâmetro p do método *TOPSIS*

DIMENSÃO	Pesos distribuídos conforme Tabela 7.20					
	CENÁRIO I		CENÁRIO II		CENÁRIO III	
	$p=1$	$p=2$	$p=1$	$p=2$	$p=1$	$p=2$
Legal	Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Bom	Bom
Econômica	Regular	Regular	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo
Social	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Regular	Regular
Ambiental	Muito Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
De práticas sustentáveis	Muito Ruim	Ruim	Muito Bom	Muito Bom	Ótimo	Ótimo
Técnica	Bom	Bom	Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom
Global	Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom

Para utilização do *ELECTRE TRI*, é preciso que se estabeleçam valores fictícios identificados como ações de referência, para cada um dos critérios que são, individualmente, comparados aos valores dos desempenhos da alternativa de projeto.

Na aplicação do *ELECTRE TRI* foram testados diferentes níveis de corte, constatou-se que um maior valor aumenta consideravelmente o número de relações incomparáveis entre os limites das categorias de desempenho e as alternativas avaliadas, por outro lado, um valor menor do nível de corte aumenta as relações de indiferença, descaracterizando o processo classificatório do método. A Tabela 8.9 apresenta as relações dos cenários com as ações de referência e os resultados do procedimento de avaliação de acordo com os diferentes níveis de corte.

Tabela 8.9. Resultados da avaliação com diferentes níveis de corte do método *ELECTRE TRI*

Nível de Corte (λ)	Cenário	Muito Ruim	Ruim	Regular	Bom	Muito Bom	Alocação Pessimista
0,99	I	>	R	R	R	R	Ruim
	II	>	>	R	R	R	Regular
	III	>	R	R	R	R	Ruim
0,75	I	>	>	>	R	<	Bom
	II	>	>	>	>	R	Muito Bom
	III	>	>	>	>	<	Muito Bom
0,60	I	>	>	>	R	<	Bom
	II	>	>	>	>	<	Muito Bom
	III	>	>	>	>	I	Ótimo
0,50	I	>	>	I	I	<	Muito Bom
	II	>	>	>	I	I	Ótimo
	III	>	>	>	>	I	Ótimo

Nota: (>) o cenário é preferível em relação à categoria de desempenho; (<) a categoria de desempenho é preferível em relação ao cenário; (R) o cenário é incomparável à categoria de desempenho e; (I) o cenário é indiferente à categoria de desempenho.

Os limiares utilizados de preferência, indiferença e veto objetivam estabelecer diferenças entre os valores dos critérios que fariam com que dois deles fossem considerados indiferentes entre si, o nível de preferência entre eles ou se por meio dos seus valores, algum deles poderia por si só vetar o resultado positivo de determinada alternativa de projeto. Esses parâmetros podem ser avaliados de forma subjetiva e, a utilização de pseudocritérios é relevante para a consideração da incerteza nos valores calculados para cada critério.

De forma geral, foi possível observar uma maior facilidade de aplicação do método *TOPSIS* em relação ao *ELECTRE TRI*, que, por sua vez, processa uma avaliação mais criteriosa.

9 . CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para que fosse atingido o objetivo principal deste trabalho, que é o de avaliar o desempenho de sistemas de drenagem urbana, foram aplicados os métodos multicritério e multiobjetivo *TOPSIS* e *ELECTRE TRI*, para agregação dos critérios de avaliação sob as dimensões legal, econômica, social, ambiental, de práticas sustentáveis, e técnica.

Em uma etapa inicial foram avaliados alguns métodos de auxílio à decisão, como a teoria dos conjuntos difusos, as redes neurais, os sistemas especialistas e os métodos multiobjetivo e multicritério, sendo estes últimos, os escolhidos para aplicação na pesquisa. Paralelamente foram analisados diferentes métodos de avaliação de desempenho, que, embora tivessem um caráter essencialmente empresarial, auxiliaram no desenvolvimento da metodologia.

A escolha dos critérios para avaliação dos sistemas de drenagem pode ser considerada como a etapa mais importante do trabalho. Foi feito um levantamento inicial dos objetivos que deveriam ser atendidos para mensurar o desempenho do sistema de drenagem urbana, concomitantemente, foi feita a identificação dos critérios que permitiriam a avaliação do atendimento dos objetivos identificados. Nessa etapa, foram consultados especialistas da área de gestão e manejo de águas pluviais urbanas, que, além de ponderarem os pesos dos critérios e objetivos propostos inicialmente, apresentaram inclusões, sugestões, críticas e correções relacionadas aos objetivos, e aos critérios relacionados às águas pluviais urbanas. As maiores contribuições dessa consulta foram a discussão possibilitada pelos especialistas e a compreensão da magnitude do processo de avaliação.

Para avaliar o desempenho dos sistemas de drenagem urbana sob cada critério, foram utilizados dois procedimentos específicos: os indicadores de desempenho e as planilhas de avaliação, semelhantes às planilhas utilizadas em auditorias. Alguns indicadores foram selecionados de outras pesquisas (Castro, 2002; Moura, 2004; Brito, 2006); outros foram propostos pelo autor. As planilhas de avaliação foram desenvolvidas a partir da revisão bibliográfica e, sua utilização, foi motivada pelos resultados satisfatórios obtidos por Brostel (2002), adotando o mesmo procedimento.

Ao todo foram utilizados dezesseis critérios na avaliação, sendo eles: *atendimento à legislação, índice de custos, necessidade de intervenção na propriedade privada, aceitação social do sistema de drenagem urbana, riscos e vulnerabilidade à saúde pública, controle de poluição das águas pluviais urbanas, controle sobre a proliferação de insetos, problemas de odores, possibilidade de utilização das águas pluviais urbanas, uso de princípios e práticas sustentáveis, escalonamento dos objetivos ao longo do tempo, possibilidade de monitoramento da qualidade das águas pluviais urbanas, alterações no meio físico, alterações na vazão de pico, tempo de retorno de projeto e confiabilidade.*

A metodologia proposta, apresentada no Sétimo Capítulo, foi aplicada a um Estudo de Caso, com a avaliação do desempenho de três cenários aplicáveis à mesma região, a sub-bacia do córrego Vaca Brava, na cidade de Goiânia-GO. Fez-se a avaliação dos três cenários, o primeiro deles composto por um sistema clássico de drenagem urbana com rede separadora da rede de esgoto, o segundo composto pelo sistema clássico anterior, com a incorporação de duas bacias de retenção ao sistema anterior e, por fim, um sistema com controle distribuído, que contempla a inserção de microrreservatórios nos lotes da área de estudo. Esses cenários avaliados foram descritos por Milograna (2001).

Como resultado da aplicação da metodologia proposta, o Cenário I, foi avaliado como regular, apresentando como principais deficiências os aspectos ambientais e de práticas sustentáveis. Como alternativa para melhorar esses desempenhos, pode ser recomendada a incorporação de técnicas compensatórias, como proposto nos outros cenários. Sob o aspecto de práticas sustentáveis, a alternativa seria a adoção de algumas medidas não-estruturais como o investimento na orientação e capacitação da sociedade, para atingir um maior nível de educação ambiental e contribuir para uma manutenção adequada do sistema, contribuindo, principalmente, com sua limpeza.

Segundo a resposta da metodologia proposta, o Cenário II foi considerado uma boa alternativa para implantação, apresentando como principal limitação o desempenho ambiental, em função dos problemas associados à proliferação de insetos e aos problemas de odores. Para remediar essa situação, deveria ser feita a manutenção periódica do sistema para retirada de lixo e limpeza das bacias.

E, por fim, o Cenário III foi considerado pela aplicação da metodologia proposta como a melhor alternativa, por refletir uma organização moderna e sustentável de manejo de águas pluviais, na qual é possível conciliar eficiência, baixos custos e sustentabilidade social e ambiental. Sua maior limitação é a necessidade de instalação na propriedade privada, o que exige um alto nível de compreensão e colaboração da população.

Com relação à utilização dos métodos de auxílio à decisão multicritério e multiobjetivo *TOPSIS* e *ELECTRE TRI*, os resultados desses métodos mostraram-se satisfatórios. Ambos facilitam a compreensão do problema de forma global, permitem fazer modificações que atribuam pontos de vista específicos na análise. O *TOPSIS* apresentou como vantagem a facilidade de aplicação. Com base na aplicação da metodologia proposta, pode-se afirmar que o *ELECTRE TRI* possui como maior vantagem a possibilidade de se trabalhar com maior rigor, alterando os valores do nível de corte e dos limiares de indiferença, preferência e veto.

Quanto ao procedimento de avaliação proposto para avaliação de desempenho, pode-se afirmar que ele é pertinente e apresenta resultados coerentes com relação aos sistemas avaliados. Os resultados de desempenhos obtidos pelos cenários avaliados, confirmam os resultados dos trabalhos de Milograna (2001), Moura (2004), Brito (2006) e Castro (2002; 2007).

No desenvolvimento do trabalho, algumas considerações foram feitas para que houvesse uma simplificação na metodologia, visando torná-la agradável ao usuário e para que fosse mantido o foco central da pesquisa no atendimento dos objetivos propostos. Em decorrência disso, algumas sugestões para aperfeiçoar o procedimento de avaliação foram listadas:

- 1) aplicar a metodologia de apoio a outros estudos de caso para verificar a robustez;
- 2) adaptar a metodologia para utilização com outros métodos de auxílio à decisão, como as redes neurais e os sistemas especialistas;

- 3) desenvolver um modelo para aplicação da metodologia que utilize recursos computacionais como os *softwares AvDren* (Baptista *et al.*, 2005a) e *MOMA FD* (Artina *et al.*, 2007), tornando a aplicação mais prática e agradável;
- 4) criar um banco de dados que apresente os diferentes critérios utilizados na avaliação dos sistemas de drenagem urbana, assim como outros que possam ser incorporados, e permitir que os critérios sejam selecionados de acordo com a necessidade do analista, sob as distintas óticas de avaliação;
- 5) Considerar na avaliação dos sistemas de drenagem além da população beneficiada pelo sistema, a população de jusante, que pode, eventualmente, ser prejudicada por algumas intervenções;
- 6) Considerar para o critério de aproveitamento das águas pluviais, o volume armazenado como sendo um valor derivado da precipitação para toda área de coleta do sistema, e não somente o volume das estruturas de armazenamento, limitado, entretanto, à capacidade de armazenamento do sistema, de maneira tal que o indicador permita obter valores significativos para análise;
- 7) adaptar os critérios econômicos para uma abordagem que esteja vinculada aos prejuízos evitados em decorrência da implantação do sistema de drenagem, sem a necessidade de comparação com outras alternativas possíveis;
- 8) aprofundar os condicionantes utilizados nas planilhas de avaliação para minimizar a subjetividade e abordar aspectos mais abrangentes, assim como consultar atores da drenagem urbana para definição das escalas de valores das planilhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlman, S. (2006). *Modelling of Substance Flows in Urban Drainage Systems*. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy. Department of Civil and Environment Technology. Division of Water Environment Technology. Chalmers University of Technology. Göteborg, Suécia. 78p.
- Almeida, A. N. de. (2006). “*Teoria dos Jogos: As origens e os fundamentos da Teoria dos Jogos*”. Centro Universitário Metropolitano de São Paulo (UNIMESP). São Paulo, SP.
- Andjelkovic, I. (2001). “Guidelines on non-structural measures in urban flood management”. *IHP-V, Technical Documents in Hydrology, n. 50, UNESCO, Paris, França*. Disponível em www.unesdoc.unesco.org.
- Araújo, L. C. G. de. (2008). *Organização, sistemas e métodos e as tecnologias de gestão organizacional: volume 2*. 2ª Edição. 3ª Reimpressão. Atlas, São Paulo. 473p.
- Artina, S.; Becciu, G.; Maglionico, M.; Paoletti, A. e Sanfilippo, U. (2005). “Performance indicators for the efficiency analysis of urban drainage systems”. *Water Science and Technology*. **51(2)**. 109-118.
- Azzout Y.; Barraud, S.; Cres, F. N. e Alfakih, E. (1995). “Decision aids for alternative techniques in urban storm management”. *Water Science and Technology*. **32(1)**. 41-48.
- Baptista, M.; Nascimento, N. e Barraud, S. (2005a). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. Primeira Edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. Porto Alegre. 266 p.
- Baptista, M.; Barraud, S.; Alfakih, E.; Nascimento, N.; Fernandes, W. e Moura, P. (2005b). “Performance-costs evaluation for urban storm drainage”. *Water Science and Technology*. **51(2)**. 99-107.
- Baptista, M.; Nascimento, N.; Castro, L. M. A.; Fernandes, W.; Barraud, S., Moura, P. (2007). “Multicriteria evaluation for urban storm drainage”. *First SWITCH Scientific Meeting*. University of Birmingham, UK.
- Barraud, S.; Azzout, Y.; Cres, F. N. e Chocat, B. (1999). “Selection aid of alternative techniques in urban storm drainage – proposition of an expert system”. *Water Science and Technology*. **39(4)**. 241-248.
- Batista, F. e Popinigis, F. (2000). *Elaboração de indicadores de desempenho institucional*. Escola Nacional de Administração Pública – ENAP. Brasília, Distrito Federal.

- Benton, V. (1986). "A comparison of the analytic hierarchy process and simple multiattribute value function." *European Journal of Operational Research*. **26**. 7-21.
- Borger, Z. (1992). "Application of neural networks to water and wastewater treatment plant operation". *ISA Transactions*. **31(1)**. 25-33.
- Braden, J. B. e Ierland, E. (1999). "Balancing: The Economic Approach to Sustainable Water Management". *Water Science and Technology*. **39(5)**. 17-23.
- Braga, B. P. F.; Barbosa, P. S. F. e Nakayama, P. T. (1998). "Sistemas de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH*. **3(3)**. 73-95. Porto Alegre-RS.
- Braga, B. P. F. e Gobetti, L. E. C. (2002). "Análise Multiobjetivo". In: Porto, R. L. L. (Org.) *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos*. Segunda Edição. ABRH, Porto Alegre, RS, 361-418.
- Braga, T. M.; Oliveira, E. L. de.; Givisiez, G. H. N. (2006). "Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática". *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, Fundação Seade. **20(1)**. 81-95.
- Brasil. Lei Federal nº 11.445. (2007). Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.
- Brito, D. S. de. (2006). *Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 117p.
- Brostel, R. C. (2002). *Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs)*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília. 278 p.
- Campana, N. A.; Bernardes, R. S.; Milograna, J. (2008). "Controle do escoamento pluvial urbano com bacias de detenção na cidade de Brasília/Brasil." *Ingeniería Del Agua*. V. 15, **2**. 73-80.

- Canholi, A. P. (2005). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. Oficina de Textos. São Paulo. 302 p.
- Cardoso, A. S. (2008). *Desenvolvimento de metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas*. Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. 183p.
- Cassiani, S. H. de B. (1996). “A Técnica de Delphi e a Técnica de Grupo Nominal como Estratégias de Coleta de Dados das Pesquisas em Enfermagem”. *Acta Paul. Enf.* **9(3)**. 76-83. São Paulo, SP
- Castro, L. M. A. de. (2002). *Proposição de indicadores para avaliação de sistemas de drenagem urbana*. Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). 118p.
- _____ (2007). *Proposição de metodologia para avaliação dos efeitos nos corpos de água*. Tese de Doutorado da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). 297p.
- Castro, L. M. de.; Baptista, M. B. e Cordeiro Netto, O. de M. (2004). “Análise Multicritério para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana: Proposição de Indicadores e de Sistemática de Estudo.” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH.* **9(4)**. 05-19. Porto Alegre, RS.
- Chiavenato, I. e Sapiro, A. (2004). *Planejamento Estratégico: Fundamentos e Aplicações*. Rio de Janeiro, RJ. 415 p.
- Costa, H. G.; Mansur, A. F. U.; Freitas, A. L. P.; Carvalho, R. A. de. (2007). “ELECTRE TRI aplicado a avaliação de satisfação de consumidores.” *Revista Produção.* **17(2)**. 230-245.
- Dihillon, B. S. (1983). *Reliability engineering in systems design and operation*. Nostrand Reinhold Company Inc. New York.
- Eccles, R. G. (2000). “Manifesto da mensuração do desempenho.” In: Harvard Business Review. *Medindo a performance empresarial*. 2ª Edição. Rio de Janeiro, RJ.
- Ellis, J.B.; Deutsch, J.C.; Legret, M.; Martin, C.; Revitt, D. M.; Scholes, L.; Seiker, H. e Zimmerman, U. (2006). “The DayWater decision support approach to the selection of sustainable drainage systems: A multi-criteria methodology for BMP decision makers”. *Water Practice and Technology.* **1(1)**.
- EPA - Environmental Protection Agency. (2005). *National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas*. Washington, DC.

- EVO/BID (1997). *Evaluación: una herramienta de gestión para mejorar El desempeño de los proyectos*. Oficina de Evaluación (EVO). Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. (1999). *Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo*. Prefeitura do Município de São Paulo. São Paulo. 289 p.
- Fendrich, R. e Oliynik, R. (2002). *Manual de utilização das Águas Pluviais – 100 maneiras práticas*. Livraria do Chain. Curitiba, PR.
- FEMA. (1981). *Design Guidelines for Flood Damage Reduction*. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C. 101p.
- Galvão, C. O.(Org.); Valença, M. J. S.; Vieira, V. P. B. B.; Diniz, L. S.; Lacerda, E. G. M.; Carvalho, A. C. P. L. F.; Ludermir, T. B. (1999). *Sistemas Inteligentes – Aplicações a Recursos Hídricos e Ciências Ambientais*. ABRH. Porto Alegre.
- Galvão, L.L. (2001). “*Sistema de medição de desempenho organizacional: as práticas nas organizações brasileiras participantes do Programa da Qualidade no Serviço Público*”. Projeto de dissertação de mestrado. Faculdade de Estudos Sociais Aplicados. Departamento de Administração. Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- Generino, R. C. M.(1999). *Desenvolvimentos em Metodologias Multicritério para Procedimentos de Avaliação em Auditorias Ambientais: Aplicação para Estações de Tratamento de Esgotos em Brasília/DF*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 167 p.
- Gobbetti, L.E.C. (1993). *Análise Multiobjetivo Aplicada ao Planejamento de Sistemas de Recursos Hídricos*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 132p.
- Goicoechea, A., Hansen, D.R. e Duckstein, L. (1982). *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*. John Wiley & Sons, Inc., 519p.
- Gomes, L. F. A. M.; Araya, M. C. G.; Carignano, C. (2004). *Tomada de decisão em cenários complexos*. São Paulo, SP. Thomson, 168p.
- Grasel, D. (1999). *Investimento e crescimento em setores de elevada competição: os casos das indústrias de revestimento cerâmico e agroindústria de carnes*. Tese de Doutorado em Engenharia da Produção - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 194p.

- Guimarães, T.A., Leitão, J.S.S., Lourenço, R.L.R. (1998). “Avaliação de desempenho baseada em resultados em organizações de pesquisa e desenvolvimento: a percepção de pesquisadores sobre sua finalidade, objetivos e limitações”. *Revista da Administração*. Vol. 34. N° 3.
- Hamoda, M. F.; Al-ghusain, I. A., Hassan, A. H. (1999). “Integrated wastewater treatment plant performance evaluation using artificial neural networks”. *Water Science and Technology*. **40(7)**. 55-65.
- Hanisch, W.S., Milaré, C.R., Carvalho, A.C.P.L.F., Pires, E.C. (1997). “Modelagem de uma estação de tratamento de esgotos utilizando redes neurais: conceituação e avaliação preliminar”. *19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Foz do Iguaçu, PR.
- Harada, A. L. (1999). *Metodologias para a Seleção de Soluções de Coleta, Tratamento e Disposição de Esgotos em Condomínios do Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 186 p.
- Harada, A. L. e Cordeiro Netto, O. M. (1999). *Métodos Multicritério de Auxílio à Decisão*. Texto de Disciplinas da Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. Brasília, DF. 13 p.
- Holzmann, R. (2001) “Risk and Vulnerability: The Forward Looking of Social Protection in a Globalizing World”. *Asian and Pacific Forum on Poverty*. Manila. 38p.
- IWA. (2000). *Performance Indicators for water supply services*. International Water Association. UK.
- ISO 9000. (2000). “Sistema de gestão de qualidade – fundamentos e vocabulário.” International Organization for Standardization. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- Kaplan, R. S. e Norton, D. P. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Harvard Business School Press. Boston.
- _____ (1997). *A Estratégia em Ação: Balanced Scorecard*. Harvard Business School Press. Elsevier Editora LTDA. 23ª Reimpressão. Rio de Janeiro. 344 p.

- Kates, Robert W. The perception of storm hazard on the shores of megalopolis. In: Lowenthal, David. (ed.) *Environmental perception and behavior*. The University of Chicago, Department of Geography, 1967. p.60-74.
- Kolsky, P. e Butler, D. (2000). “Drainage performance indicators in developing countries”. *Urban Water*. **4(2)**. 137-144.
- Lai, Y. J.; Liu, T. Y; Hwang, C. L. (1994). “TOPSIS for MODM”. *European Journal of Operational Research*. **76(3)**. 486-500.
- Machado, M. L. (2005). *Curva de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia – estudo de caso Bacia do Sapucaí – Itajubá – MG*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2 Volumes.
- Marandola Jr, E. e Hogan, D. J. (2004). “O risco em perspectiva: tendências e abordagens”. *Dinâmica intra-metropolitana e vulnerabilidade sócio-demográfica nas metrópoles do interior paulista: Campinas e Santos*. Núcleo de Estudos de População. 25p.
- Martin, C.; Ruperd, Y. e Legret, M. (2007). “Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices”. *European Journal of Operational Research*. **181**. 338-349.
- Maystre, L. Y.; Pictet, J.; Simos, J. “*Méthodes multicritères Electre: description, conseils pratiques et cas d’application à la gestion environnementale.*” Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, Suíça. 323p., 1994.
- Melachrinoudis, E. e Xanthopoulos, X. (1998). “A maximum L_p distance problem”. *Journal of mathematical analysis and applications*. **217**. 650-671.
- Milograna, J. (2001). *Estudo de Medidas de Controle de Cheias em Ambientes Urbanos [Distrito Federal]*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 120 p.
- _____ (2009). *Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas*. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 316p.

- Moldan, B. e Bilharz, S. (Ed.). (1997). *Sustainability indicators: report of the Project on indicators of sustainable development*. Ed John Wiley & Sons. Chichester, Reino Unido. 415p.
- Montenegro, M. H. e Tucci, C. E. M. (2005) “Saneamento ambiental e águas pluviais.” In: BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Gestão do território e manejo integrado das águas urbanas*. Brasília, DF, 7-20.
- Moura, P. M. (2004). *Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 146p.
- Moura, P. M. (2008). *Méthode d'Évaluation des Performances des Systèmes d'Infiltration des Eaux de Ruissellement en Milieu Urbain*. Tese de Doutorado, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Lyon, França.
- Moura, P. M.; Baptista, M. B.; Barraud, S. (2006). “Comparison between two methodologies for urban drainage decision aid”. *Water Science and Technology*. **54(6)**. 493-499.
- Mousseau, V. e Slowinski, R. (1998). “Inferring an ELECTRE-TRI Model from assignment examples.” *Journal of Global Optimization*. **12**. 157-174.
- Mousseau, V.; Figueira, J.; Naux, J. P. (2001) “Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: some experiments results.” *European Journal of Operational Research*. **130**. 263-275.
- NBR ISO 9000. (2000). *Sistema de gestão de qualidade – fundamentos e vocabulário*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro, RJ. 26p.
- Pompêo, C. A. (2000). “Drenagem Urbana Sustentável”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH*. **5(1)**. 15-23. Porto Alegre.
- Pomerol, J. C. e Barba-Romero, S. (1993). *Choix multicritère dans l'entreprise: principe et pratique*. Paris. 390p.
- Porto, R. L. L. e Azevedo, L. G. T. (2002). “Sistemas de Suporte a Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos”. In: Porto, R. L. L. (Org.) *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos*. Segunda Edição. UFGRS Editora, ABRH, Porto Alegre, RS, 43-96.
- Prefeitura Municipal de Goiânia. (1992). *Plano de Desenvolvimento Integrado de Goiânia*. Goiânia, GO - Brasil.
- Prefeitura Municipal de Goiânia. (1994). *Lei de Zoneamento, Lei Complementar nº031, de 29 de Dezembro de 1994*. Goiânia, GO - Brasil.

- Pronk e Haq. (1992). “Desarrollo Sostenible, Del concepto a La accion”. *El informe de La Haya*. UNESCO.
- Ribeiro, G. (2000). *Avaliação de desempenho: instrumento de dominação ou de gestão organizacional?*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Administração. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 125p.
- Ribeiro, H. K. de S. (2003). *Avaliação de desempenho ambiental em estações de tratamento de água*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 135p.
- Roger, M. e Bruen, M. (1998). “Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 107. 542-551.
- Roy, B. (1978). *Electre III: un algorithme de classements fondé sur une representation floue des preferences en presence de critère multiple*. Cahier du CERO. **20(1)**. Paris. 3-24.
- Roy, B. (1985). *Méthodologie muticritère d'aide à la decision*, Economica, Paris, 423p.
- Roy, B. (1986). “Multicriteria Methodology for Decision Aiding”. *Nonconvex Optimization and its Applications*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério das Cidades. (2006). *Saneamento Para Todos, 4º volume - Gestão de águas pluviais urbanas*. Brasília, DF. 194p.
- Silva, A. C. N. (2001). *Indicadores de contaminação ambiental e diretrizes técnicas para disposição final de resíduos sólidos de serviços de saúde: uma abordagem multidisciplinar*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 133p.
- Simon, H. (1960). *The new science of management decision*. New York, Harper & Row.
- Souza, C. M. N. (2001). *Carência ou Precariedade dos Serviços de Drenagem Urbana e Ocorrência de Doenças de Importância para a Saúde Pública – Contribuição ao Estabelecimento de Modelo Causal*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e

- Recursos Hídricos (PTARH). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 147p.
- Stoffel, I. (1997). “*Administração do desempenho: metodologia gerencial de excelência*”. Ed. Perspectiva. Florianópolis.
- Tervonen, T.; Figueira, J. R.; Lahdelma, R.; Dias, J. A.; Salminen, P. (2009). “A stochastic method for robustness analysis in sorting problems”. *European Journal of Operational Research*. **192**. 236-242.
- Thampapillai, D.J. e Musgrave, W.F.(1985). “Flood damage mitigation: a review of structural and nonstructural measures and alternative decision frameworks.” *Water Resources Research*, vol. **21** n.(4), 411-424.
- Tomaz, P. (2000). *Previsão de consumo de água*. Primeira Edição. Editora Navegar. 250 p.
- Tucci, C. E. M. (2007). *Inundações Urbanas*. Primeira Edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). RHAMA. Porto Alegre. 393 p.
- Tunstall, D. (1992). “*Developing environmental indicators: definitions, framework and issues.*” Workshop on global environmental indicators. Washington D. C.
- UNDP. (2004). *Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report*. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York.
- Urban Drainage and Flood Control District. (1999). “Stormwater Quality Management”. *Drainage Criteria Manual* (v.3).
- Vergara, F. E. F.; Mol, J. M. D.; Souza, M. A. A. e Cordeiro Netto, O. de M. (2004). “Aplicabilidade do Método de Análise Multiobjetivo TOPSIS à Gestão dos Recursos Hídricos”. *Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste*. V. 1, Goiânia, GO. 1-13.
- Vetschera, R. (2005). “Multiple criteria in management”. *Notas de aula de disciplina de análise multicritério da Universidade de Viena*. Disponível em <http://www.univie.ac.at>. 42p. Viena, Áustria.
- Vincke, P. (1989). *L'aide muticritère à la décision*. Éditions de l'Université de Bruxelles. Bruxelas, Bélgica. 179p.
- Vincke, P. (1992). *Multicriteria Decision-Aid*. John Wiley & Sons Ltd, Inglaterra, 154p.
- Wright, J. T. C. e Giovinazzo, R. A. (2000). “DELPHI: Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo”. *Caderno de Pesquisas em Administração*. **01(12)**. São Paulo, SP.

- Yu, W. e Roy, B. (1992). *ELECTRE TRI. Aspects Méthodologiques et Manuel d'Utilisation*. Document N° 74, version 1.0, Université de Paris Dauphine, Paris, 80p
- Zeleny, M. (1973). *Multiple Criteria decision Making*. University of South Carolina Press, Columbia, Estados Unidos.
- Zuffo, A. C.; Reis, L. F. dos; Santos, R. F. dos e Chaudhry, F. H. (2002). “Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento de Recursos Hídricos”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*. **7(1)**. 81-102.

APÊNDICE A

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos



FORMULÁRIO DE PESQUISA

1. INTRODUÇÃO

O preenchimento do presente formulário contribuirá para a realização de uma pesquisa intitulada “*Desenvolvimento de metodologia de apoio para avaliação de desempenho global de sistemas de drenagem urbana*”, em desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília.

A pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de apoio que permita a avaliação global de sistemas de drenagem urbana, por meio da produção um diagnóstico que indique os aspectos positivos e negativos do sistema de drenagem urbana.

Para a formulação da metodologia de apoio, faz-se necessária a identificação dos objetivos esperados e dos critérios utilizados para avaliar os sistemas de drenagem urbana. Os objetivos e critérios serão utilizados na aplicação de métodos de auxílio à decisão multicritério e multiobjetivo para avaliação de desempenho global de sistemas de drenagem urbana. Para a definição desses objetivos e critérios, assim como os seus graus de importância, deverão ser consultados gestores, representantes de órgãos reguladores, representantes de órgãos ambientais, técnicos, projetistas e pesquisadores, entre outros.

Os objetivos identificados por meio de pesquisa bibliográfica estão listados na Tabela 1. Na Tabela 2 estão descritos os critérios para avaliar o atendimento de cada objetivo.

2. QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

a) Avaliar a importância de cada objetivo e cada critério

Para cada objetivo descrito na Tabela 1 pede-se atribuir na coluna da direita (NOTA) o valor correspondente ao grau de importância de cada objetivo na avaliação de desempenho de um sistema de drenagem urbana. Use nessa avaliação a escala de valores descrita a seguir:

DESCRIÇÃO	VALOR
<i>Indispensável</i>	4
<i>Muito Importante</i>	3
<i>Importante</i>	2
<i>Pouco Importante</i>	1
<i>Dispensável</i>	0

Tabela 1 – Avaliação dos Objetivos dos Sistemas de Drenagem Urbana

OBJETIVO	NOTA
1. Cumprir exigências legais	
2. Minimizar riscos de inundações urbanas	
3. Minimizar impactos ambientais	
4. Garantir o bem-estar da sociedade	
5. Aplicar eficientemente recursos financeiros	
6. Promover sustentabilidade	

Utilizando a mesma escala de valores aplicada na avaliação dos objetivos, pede-se atribuir na coluna da direita (NOTA) da Tabela 2 o valor correspondente ao grau de importância de cada critério na avaliação de desempenho de um sistema de drenagem urbana.

Tabela 2 – Avaliação dos Critérios para Atendimento dos Objetivos dos Sistemas de Drenagem Urbana

OBJETIVO	CRITÉRIO IDENTIFICADO PARA AVALIAÇÃO DO CUMPRIMENTO DO OBJETIVO	NOTA
1. Cumprir Exigências Legais	1.1. Atendimento a legislação ambiental	
2. Minimizar riscos de inundações urbanas	2.1. Alteração do meio físico	
	2.2. Variação na vazão de pico	
	2.3. Variação produzida no tempo até o pico de vazão	
	2.4. Tempo de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto	
	2.5. Confiabilidade	
3. Minimizar impactos ambientais	3.1. Controle de poluição das águas pluviais urbanas	
	3.2. Diversidade de habitats	
	3.3. Impacto paisagístico	
	3.4. Aumento/diminuição de áreas verdes	
4. Garantir o bem-estar da sociedade	4.1. Controle sobre a proliferação de insetos	
	4.2. Criação de áreas de preservação e de lazer	
	4.3. Necessidade de intervenção na propriedade privada	
5. Aplicar eficientemente recursos financeiros	5.1. Custos de implantação	
	5.2. Custos de manutenção e operação	
6. Promover Sustentabilidade	6.1. Uso de princípios e práticas sustentáveis	
	6.2. Possibilidade de recuperação/reutilização das águas pluviais urbanas	

b) Seria necessária a inclusão de algum outro objetivo ou a eliminação de algum dos objetivos propostos? Caso sejam propostos novos objetivos, que notas deveriam ser atribuídas a estes? Se possível, justifique a inclusão desses objetivos.

c) Seria necessária a inclusão de algum outro critério para avaliação do cumprimento dos objetivos propostos ou a eliminação de algum critério? Caso sejam propostos novos critérios, que notas deveriam ser atribuídas a estes? Se possível, justifique a inclusão desses critérios.

d) Haveria algum comentário, sugestão, ou correção adicional?

3. IDENTIFICAÇÃO DO ENTREVISTADO

Todas as informações obtidas na pesquisa serão tratadas de forma confidencial e respeitosa. Os participantes serão citados como colaboradores e não terão suas respostas vinculadas aos seus nomes.

Nome	
e-mail	
Telefone	
Atuação Profissional	

RELAÇÃO DOS ESPECIALISTAS CONSULTADOS

ESPECIALISTAS	
Cláudia Vale	<i>Engenheira Civil da Assessoria de Meio Ambiente da NOVACAP (Brasília-DF)</i>
Eduardo Mário Menciondo	<i>Professor da USP (São Carlos-SP)</i>
Flávio Mascarenhas	<i>Professor COPPE / UFRJ - Área de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (Rio de Janeiro-RJ).</i>
Jaime Cabral	<i>Professor UFPE (Recife-PE).</i>
Jéferson Costa	<i>Consultor da área de recursos hídricos e saneamento (Brasília-DF).</i>
José Góes de Vasconcelos Neto	<i>Professor da UnB (Brasília-DF)</i>
Jussanã Milograna	<i>Professora do IFG e pesquisadora na área de drenagem urbana e controle de inundações (Goiânia-GO).</i>
Leonardo Mitre Alvim de Castro	<i>Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas – Licenciado e Coordenador de Recursos Hídricos da Anglo Ferrous Brazil (Belo Horizonte-MG).</i>
Luiz Fernando Orsini	<i>Engenheiro civil, especialista em recursos hídricos e saneamento, líder de projetos da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica e consultor independente (São Paulo-SP).</i>
Márcio Baptista	<i>Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG (Belo Horizonte-MG).</i>
Neiva Azzolin	<i>Engenheira Civil da CAESB com atuação na área de recursos hídricos e saneamento (Brasília-DF).</i>
Priscilla Macedo Moura	<i>Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG (Belo Horizonte-MG).</i>
Raquel Brostel	<i>Engenheira civil atuante na área de saneamento ambiental. Gerente de licenciamento ambiental e outorga de recursos hídricos, na CAESB (Brasília-DF).</i>
Rosa Martins	<i>Engenheira consultora em gestão ambiental dos recursos hídricos (São Paulo-SP).</i>
Vanessa Freitas	<i>Pesquisadora da área de recursos hídricos e saneamento ambiental (Brasília-DF).</i>
Vanusa Gomes	<i>Especialista em estudos hidrológicos, CAESB (Brasília-DF).</i>

Nota: Os especialistas estão ordenados em ordem alfabética e, suas respostas são de interesse confidencial, não estando diretamente vinculadas a quaisquer resultados da pesquisa.

APÊNDICE B

COLETA DE DADOS BÁSICOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

1. Dados Básicos da Área de Projeto sem Intervenção

- 1.1. Descrição e localização da área de intervenção
- 1.2. População atendida
- 1.3. Vazão de pico estimada para o estado natural da área (sem ocupação urbana)
- 1.4. Tempo à vazão de pico sem ocupação urbana
- 1.5. Áreas impermeáveis antes de qualquer intervenção
- 1.6. Áreas permeáveis antes de qualquer intervenção
- 1.7. Tempo de retorno de inundações

2. Dados Básicos da Área de Projeto com Intervenção

- 2.1. Descrição do tipo de intervenção proposta
- 2.2. Vazão de pico estimada após a intervenção
- 2.3. Tempo à vazão de pico após a intervenção
- 2.4. Áreas impermeáveis após a intervenção
- 2.5. Áreas permeáveis após a intervenção
- 2.6. Tempo de retorno de projeto
- 2.7. Custos de implantação
- 2.8. Custos de operação e manutenção
- 2.9. Vida útil do sistema implantado
- 2.10. Área a ser ocupada pelo sistema de drenagem urbana
- 2.11. Área a ser desapropriada para implantação do sistema de drenagem urbana
- 2.12. Volume de água armazenado que pode ser aproveitado para usos não-potáveis

3. Percentual de remoção de poluentes (quando houver)

- 3.1. Sólidos suspensos totais (TSS)
- 3.2. Fósforo total (TP)
- 3.3. Nitrogênio total (TN)
- 3.4. Zinco total (TZ)
- 3.5. Chumbo total (TPb)
- 3.6. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)