

Leonardo Mitre Alvim de Castro

PROPOSIÇÃO DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Márcio B. Baptista
Co-Orientador: Prof. Oscar de M. Cordeiro

Netto – UnB.

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos
Escola de Engenharia

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte
2002

Dissertação defendida e aprovada, em 30 de abril de 2002, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Márcio Benedito Baptista – Orientador

Prof. Oscar de Moraes Cordeiro Netto – Co-orientador

Prof. César Augusto Pompêo

Prof. Marcelo Libânio

Prof. Nilo Oliveira Nascimento

DEDICATÓRIA

A meus amados pais Milton e Antonieta e à minha irmã Juliana, pelo seu total empenho e dedicação para que este momento pudesse se tornar realidade.

A minha querida Ju, por estar sempre ao meu lado, com apoio e dedicação constante, em todos os momentos acreditando e confiando no sucesso deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre ao meu lado.

Ao professor Márcio Benedito Baptista, mais que um grande orientador, com sua experiência e visão abrangente e com conselhos valiosos, trazendo tranquilidade e confiança e determinando as diretrizes para o sucesso deste trabalho.

Ao meu co-orientador, professor Oscar de Moraes Cordeiro Netto, pelos conhecimentos transmitidos e, principalmente, pelo apoio nas análises multicritério.

Ao professor Marcelo Libânio, orientador de iniciação científica, por me ajudar a dar os primeiros passos na hidráulica e na pesquisa científica.

À professora Sylvie Barraud, do INSA de Lyon, por todo o apoio e pelos conhecimentos passados durante meu período de estágio em Lyon, França.

Aos professores do mestrado: Mauro Naghetini, Luis Rafael Palmier, Mário Cicareli, Carlos Martinez e Nilo Nascimento, pela dedicação ao curso e conhecimentos transmitidos.

Aos especialistas que participaram deste trabalho realizando a análise de pertinência e importância dos indicadores propostos, dando assim valiosa contribuição.

À Célia Maria Brandão Fróes, do IGAM, por não medir esforços para apoiar e me permitir cursar o mestrado.

Ao Diretor Geral do IGAM, Willer Hudson Pós, e aos meus colegas, principalmente Alberto Schwartzman e o Marcelo Diniz, verdadeiros amigos, pelo constante apoio e por compreender minhas ausências.

Aos amigos e parentes por compreender a importância dessa etapa em minha vida.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
2- A EVOLUÇÃO DA DRENAGEM URBANA	3
2.1- Histórico das Tecnologias de Drenagem Urbana	3
2.2- Problemática da Drenagem Urbana e Tendências	4
2.3- Sistemas Clássicos e Alternativos	5
2.3.1- Sistemas Clássicos	5
2.3.2- Sistemas Alternativos	6
2.4- Conclusões	22
3- COMPARAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO.....	25
3.1- Considerações Iniciais	25
3.2- Utilização de indicadores como parâmetros de comparação	25
3.2.1- Introdução	25
3.2.2- Indicadores e seus conceitos relacionados	26
3.2.3- Características dos Indicadores	27
3.2.4- Uso dos indicadores	28
3.3- Ciclo de Tomada de Decisão	29
3.3.1- Introdução	29
3.3.2- Fase de Identificação do Problema	30
3.3.3- Fase de Crescimento da Consciência do Público/Conhecimento do Problema	30
3.3.4- Fase de Decisão quanto à Formulação e Definição da Política	30
3.3.5- Fase de Implementação da Política	30
3.3.6- Fase de Avaliação da Política	31
3.4- Metodologias para a Avaliação de Alternativas	31
3.4.1- Introdução	31
3.4.2- Análise de critério único	32
3.4.3- Análises multicritério	34
3.5- Conclusões	36
4- Proposição de indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana	38
4.1- Introdução	38
4.2- Critério “Objetivo”	39
4.3- Critério “Impactos da Obra”	40
4.3.1- Hidrológicos	40
4.3.2- Sanitários	42
4.3.3- Qualidade das águas	43
4.4- Critério “Inserção da Obra”	44
4.4.1- Ambiental	44
4.4.2- Social	45
4.5- Estrutura da Análise dos Indicadores	48
4.6- Análise de Importância	49
4.7- Participantes do Processo Decisório	50

4.8- Conclusões	51
5- METODOLOGIA DE ANÁLISE	53
5.1- Escolha dos métodos de análise multicritério	53
5.2- Programação de Compromisso	53
5.3- Electre	54
5.3.1- Pseudo-critério	56
5.3.2- Princípios básicos do Electre III	57
5.4- Utilização dos softwares	60
5.4.1- Estrutura dos softwares	60
5.4.2- Adaptações nos valores dos indicadores	62
5.4.3- Definição dos limiares para o Electre III	62
5.5- Estrutura da análise proposta	63
5.6- Conclusões	64
6- APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA EM ESTUDOS DE CASO	66
6.1- Technopolis (Bordeaux – França)	66
6.1.1- Caracterização do empreendimento	66
6.1.2- Alternativas de projeto	67
6.1.3- Matriz de conseqüências	69
6.1.4- Resultados da Programação de Compromisso	71
6.1.5- Resultados do Electre III	71
6.2- Região da cidade de Goiânia-GO	72
6.2.1- Caracterização do empreendimento	72
6.2.2- Alternativas de projeto	74
6.2.3- Matriz de conseqüências	75
6.2.4- Resultados da Programação de Compromisso	77
6.2.5- Resultados do Electre III	77
6.3- Loteamento “Vivendas de Santa Mônica” (RMBH)	77
6.3.1- Caracterização do empreendimento	77
6.3.2- Alternativas de projeto	78
6.3.3- Matriz de conseqüências	80
6.3.4- Resultados e análise da comparação de alternativas de projeto	82
7- ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	83
7.1- Análises de Sensibilidade e Robustez	83
7.1.1- Technopolis (Bordeaux – França)	83
7.1.2- Região da cidade de Goiânia-GO	87
7.2- Comparação de Decisores	92
7.2.1- Technopolis (Bordeaux – França)	92
7.2.2- Região da cidade de Goiânia-GO	93
7.3- Conclusões	94
8- CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	96
8.1- Indicadores propostos	96
8.2- Métodos de Análise	97
8.3- Estudos de Caso	98

8.4- Perspectivas.....	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXO A – Especialistas participantes do processo decisório e análises de importância realizadas	106
ANEXO B – Questionário para a avaliação de pertinência e dos pesos referentes a indicadores para a avaliação de alternativas de projeto de sistemas de drenagem urbana	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Certu – *Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques*

ELECTRE – *Elimination Et Choix Traduisant REalité*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INSA - *Institut National des Sciences Appliquées*, França

PROMETHEE - *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*

SMG – *Service de Mathématiques de La Gestion*, França

STU – *Service Technique de l'Urbanisme*

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UnB – Universidade de Brasília

LISTA DE FIGURAS

2.1- Esquema com as possibilidades de arranjos para os pavimentos com estruturas de reservação 11	
2.2- Esquema de um poço de infiltração com vertimento superficial	15
2.3- Esquema de um poço de infiltração com recepção das águas por meio das redes de drenagem.....	15
2.4- Esquema de um telhado armazenador com o dispositivo de descarga	17
2.5- Esquema de uma trincheira	19
2.6- Esquema de uma vala de infiltração.....	21
2.7- Esquema de uma vala de retenção.....	21
3.1- Ciclo de Tomada de Decisão	29
4.1- Síntese da metodologia de análise.....	48
5.1- Algoritmo do Electre III	58
5.2- Estrutura proposta para a análise a ser desenvolvida	64
6.1- Mapa de Localização da Technopolis	66
6.2- Ordenação de Alternativas para o caso de Technopolis segundo a Programação de Compromisso.....	71
6.3- Ordenação de Alternativas para o caso Technopolis segundo o Electre III.....	72
6.4- Mapa de Localização da cidade de Goiânia	73
6.5- Ordenação de Alternativas para o caso de Goiânia segundo a Programação de Compromisso.....	77
6.6- Ordenação de Alternativas para o caso de Goiânia segundo o Electre III	77
6.7- Localização do Loteamento Vivendas Santa Mônica na Região Metropolitana de Belo Horizonte.....	78

LISTA DE QUADROS

2.1- Síntese das técnicas alternativas de drenagem urbana	24
4.1- Funções técnicas possíveis de serem associadas às diferentes técnicas de drenagem	47
4.2- Planilha utilizada no questionário, com o resultado da análise de tendência dos pesos arbitrados pelos especialistas.....	51
5.1- Objetivos e principais características dos métodos Electre.....	55
6.1- Matriz de Conseqüências para o estudo de caso de Technopolis.....	70
6.2- Matriz de Conseqüências para o estudo de caso de Technopolis, com a escala corrigida.....	70
6.3- Matriz de Conseqüências para o estudo de caso da área de Goiânia	76
6.4- Matriz de Conseqüências para o estudo de caso da área de Goiânia, com a escala corrigida.....	76
6.5- Matriz de Conseqüências para o estudo de caso do loteamento “Vivendas de Santa Mônica”	81
6.6- Matriz de Conseqüências para o estudo de caso do loteamento “Vivendas de Santa Mônica”, com a escala corrigida	81

LISTA DE TABELAS

7.1- Redução de um ou dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa IV-100 era melhor que a III-100	84
7.2- Aumento de um ou dois pontos no peso do indicador em que a alternativa III-100 era melhor que a IV-100	84
7.3- Redução de um a dois pontos ou 10 a 20% nos valores dos indicadores em que a alternativa IV-100 era a melhor classificada	84
7.4- Aumento de 0,5 ou um ponto no valor do indicador em que a alternativa III-100 era melhor que a IV-100	85
7.5- Redução de um ou dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa IV-100 era melhor que a III-100	85
7.6- Redução de um ou dois pontos no peso do indicador em que a alternativa III-100 era melhor que a IV-100	86
7.7- Redução de um a dois pontos ou 10 a 20% nos valores dos indicadores em que a alternativa III-100 era a melhor classificada.....	86
7.8- Redução de um a dois pontos ou 10 a 20% nos valores dos indicadores em que a alternativa IV-100 era a melhor classificada	86
7.9- Redução de um a dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa II era a melhor classificada.....	88
7.10- Aumento de um a dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa III era melhor que a II.....	88
7.11- Redução de um a dois pontos ou 10 a 20% nos valores dos indicadores em que a alternativa II era a melhor classificada	89
7.12- Aumento de um a dois pontos nos valores dos indicadores em que a alternativa III era melhor que a II.....	89
7.13- Redução de um a dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa III era melhor classificada que a II.....	90
7.14- Redução de um a dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa II era melhor classificada que a III.....	90
7.15- Redução de um a dois pontos nos valores dos indicadores em que a alternativa III era melhor classificada que a II.....	91
7.16- Redução de um a dois pontos nos valores dos indicadores em que a alternativa II era melhor classificada que a III.....	91
7.17- Comparação de decisores para o caso de Technopolis.....	92
7.18- Comparação de decisores para o caso de Goiânia.....	93

NOTAÇÕES

- A_{apta1} = Área ecologicamente apta antes da implementação do sistema de drenagem
 A_{apta2} = Área ecologicamente apta após a implantação do sistema de drenagem proposto
 A_{des} = Área total a ser desapropriada pelo sistema de drenagem proposto
 A_{inf} = Área de infiltração segundo a alternativa de projeto estudada
 A_{maxdes} = Maior valor, dentre as alternativas estudadas, para a área a ser desapropriada pelo sistema de drenagem
 A_{maxRL} = Maior área criada, dentre as diversas alternativas, referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, associada à alternativa de projeto de sistema de drenagem
 A_{nat} = Área de infiltração caso a área não estivesse urbanizada
 A_{RL} = Área criada referente à recreação e lazer e equipamentos urbanos, associada à alternativa de projeto de sistema de drenagem
 A_{RL1} = Área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, antes da implementação do sistema de drenagem
 A_{RL2} = Área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, após a implementação do sistema de drenagem proposto
 c_j = Índice de concordância para o critério i , na análise por meio do Electre III
 C_{ik} = Índice de concordância global na análise por meio do Electre III
 d_j = Índice de discordância para o critério i , na análise por meio do Electre III
 D_{ik} = Índice de discordância global na análise por meio do Electre III
 δ_{ik} = Grau de credibilidade, usado na análise por meio do Electre III
 f_i^* = melhor valor possível para o critério i , na análise segundo a Programação de Compromisso
 f_i^{**} = pior valor possível para o critério i , na análise segundo a Programação de Compromisso
 I_{A1} = Indicador de criação e preservação de habitats
 I_{A2} = Indicador de impacto paisagístico
 I_{H1} = Indicador de impacto sobre as vazões de jusante
 I_{H2} = Indicador de recarga do aquífero
 I_O = Indicador de atendimento ao objetivo
 I_{Q1} = Indicador de impacto na qualidade das águas superficiais
 I_{Q2} = Indicador de impacto na qualidade das águas subterrâneas
 I_{S1} = Indicador de possibilidade de transmissão de doenças
 I_{S2} = Indicador de possibilidade de proliferação de insetos
 I_{SC1} = Indicador de criação de áreas de recreação e lazer
 I_{SC2} = Indicador de impacto nas condições de circulação
 I_{SC3} = Indicador de possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas
 I_{SC4} = Indicador de desapropriação de áreas
 λ_i = peso do critério i , para a análise segundo a Programação de Compromisso
 P_i = peso do critério i para a análise por meio do Electre III
 p_i = limiar de preferência para a análise por meio do Electre III
 q_i = limiar de indiferença para a análise por meio do Electre III
 Q_{alvo} = Vazão alvo a ser mantida a jusante pelo sistema de drenagem
 Q_{inf} = Vazão infiltrada segundo a alternativa de projeto estudada

Q_{jus} = Vazão a escoar a jusante segundo a alternativa de projeto estudada
 Q_{nat} = Vazão infiltrada caso a área não estivesse urbanizada
 T_R = Tempo de retorno de projeto para o sistema de drenagem
 T_{RD} = Tempo de retorno desejável para o sistema de drenagem
 v_i = limiar de veto para a análise por meio do Electre III

RESUMO

Nos últimos anos, vem ocorrendo, com grande intensidade, a concentração de população em áreas urbanas. Associadas ao processo de urbanização diversas alterações vêm sendo percebidas no meio ambiente, provocando mudanças no ciclo hidrológico e levando os sistemas clássicos de drenagem urbana a operarem em seus limites e com uma freqüente ocorrência de crises de funcionamento. Para atenuar esses efeitos da urbanização, estão sendo desenvolvidas técnicas alternativas de drenagem urbana, que se baseiam, principalmente, na retenção e na infiltração das águas precipitadas. Assim, tendo em vista as diferentes possibilidades de concepção de sistemas de drenagem atualmente disponíveis, tornou-se importante a comparação da eficiência técnica, ambiental e social dos diversos arranjos de projeto possíveis para a drenagem de uma área.

O presente trabalho tem como objetivo principal a proposição de indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana. Para isso, foram definidos três critérios de avaliação, sendo eles, critério objetivo, impactos e inserção da obra. A partir deles, puderam ser propostos os indicadores de atendimento ao objetivo, hidrológicos, sanitários, de qualidade das águas, ambientais e sociais.

Para a aplicação desses indicadores, foram escolhidos dois métodos de análise multicritério, o Electre III e o Programação de Compromisso, com o objetivo de permitir comparar suas formas de análises e seus resultados.

A metodologia proposta foi aplicada e verificada em três estudos de caso, para áreas escolhidas cujos projetos de drenagem incluíam arranjos bastante diversos com a utilização de sistemas clássicos, intermediários e alternativos englobando técnicas das mais variadas como valas, pavimentos porosos, trincheiras de infiltração, bacias de retenção e infiltração além de outras.

Desse trabalho, várias conclusões importantes puderam ser observadas, principalmente com a verificação da preferência das técnicas alternativas em relação às clássicas ao avaliar aspectos ambientais e sociais juntamente com os hidráulicos e hidrológicos.

ABSTRACT

In the last years, can be observed with great intensity, the concentration of the population in the urban areas. From the urbanization, some changes are occurring on the environment, causing changes on the hydrologic cycle that are making the classic systems work on their limits, with some crisis happening. To reduce these effects, some alternative techniques (BMPs) are being developed based mainly on the retention and the infiltration of the pluvial water. In that case, there are various different possibilities of conception of drainage systems and it's important to dispose tools to compare the technical, social and environmental efficiency of these alternatives.

This work had as the main purpose the proposition of indicators that can be used to evaluate different types of urban drainage systems. To achieve this objective, three evaluation criteria were defined: objective, impacts and insertion of the drainage system proposed. From these criteria, the hydrologic, sanitary, water quality, environmental and social indicators were proposed.

To use them two different methods of multicriteria analysis were chosen, Electre III and Compromise Programming, with the main aim to compare their ways to treat the problem and their results.

The methodology proposed was used and verified in three case studies to chosen areas whose drainage projects included different conception systems with classic, intermediaries and alternative techniques (BMPs) as porous pavements, infiltrations trenches, retention and infiltration basins, among others.

From this work, some important conclusions were made, as seeing the preference for alternative techniques in relation to the classic ones, when we compare environmental and social aspects with the hydraulic and hydrologic.

1- INTRODUÇÃO

A concepção clássica dos sistemas de drenagem urbana, de acordo com os conceitos higienistas do século XIX, recomenda evacuar rapidamente as águas pluviais do meio urbano, através de condutos subterrâneos artificiais, levando ao aumento da velocidade de escoamento e, como consequência, da magnitude dos picos de cheia. Esses sistemas que foram, e até hoje são ainda, utilizados no Brasil, tendem, portanto, a amplificar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, na medida que são reduzidos os tempos de trânsito das águas pluviais. A combinação desses efeitos da urbanização – aumento dos volumes escoados e aceleração do escoamento – tem levado os *sistemas clássicos* de drenagem urbana a operarem nos seus limites, com a freqüente ocorrência de crises de funcionamento, resultando em inundações de áreas urbanas, com seus impactos sociais, econômicos e ambientais.

Sendo assim, o meio técnico tem direcionado suas pesquisas em drenagem urbana para o desenvolvimento de técnicas alternativas às soluções clássicas, buscando neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, beneficiando a qualidade de vida e a preservação ambiental. Essas novas tecnologias baseiam-se principalmente na infiltração e na retenção das águas precipitadas, visando assim à diminuição do volume escoado e o rearranjo temporal das vazões e, conseqüentemente, reduzindo as probabilidades de inundações.

Entretanto, mesmo mostrando diversas vantagens em relação às soluções clássicas, elas têm sido pouco ou mal utilizadas. O fator preponderante para este fato reside na dificuldade da escolha da melhor alternativa de projeto a ser implantada, dentre as muitas opções de arranjos possíveis atendendo de formas diversas a múltiplos pontos de vista (hidráulico, hidrológico, ambiental, ecológico, urbanístico, paisagístico, social, econômico, etc.). Sendo assim, foi percebida a necessidade da definição de uma metodologia capaz de avaliar e comparar alternativas de projeto dando subsídios à tomada de decisão.

O presente trabalho apresenta como objetivo geral a proposição de indicadores, além de uma metodologia de análise multicritério para permitir a avaliação de sistemas de drenagem urbana, subsidiando a tomada de decisões quanto às técnicas a serem utilizadas.

O trabalho que aqui se apresenta está estruturado em oito capítulos, incluindo esta introdução.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica da evolução da drenagem urbana, iniciando com um histórico, passando pela problemática e tendências observadas até um detalhamento das principais técnicas alternativas de drenagem urbana já desenvolvidas.

O terceiro capítulo, também de revisão bibliográfica, aborda o tema da comparação de alternativas de projeto. No primeiro momento, são apresentadas a definição e principais características de indicadores para que sejam úteis para o processo. Logo após, é

apresentado o ciclo de tomada de decisão com suas principais etapas e características, até chegar nas metodologias de comparação de alternativas, com especial atenção aos métodos de análise multicritério.

No capítulo quatro, são propostos e definidos todos os indicadores, com as formas de determinação e cálculo de seus valores.

Posteriormente, no capítulo cinco, são definidos os métodos de análise multicritério escolhidos para a realização do trabalho de aplicação e validação dos estudos de caso. A realização dos estudos de caso é mostrada no capítulo seis.

No sétimo capítulo são realizadas análises de sensibilidade e robustez, além da comparação de decisores na aplicação aos estudos de caso.

Finalmente, no capítulo oito, são apresentadas as conclusões principais do trabalho, sendo determinadas, ainda, algumas perspectivas para a complementação.

2- A EVOLUÇÃO DA DRENAGEM URBANA

2.1- Histórico das Tecnologias de Drenagem Urbana

As cidades e os cursos de água sempre tiveram uma ligação muito importante ao longo da história da humanidade. Desde as primeiras aglomerações, pode ser verificada a localização das cidades preferencialmente junto aos cursos de água. Isto se deu, segundo Baptista e Nascimento (2002), devido ao fato de que a proximidade da água favorecia o seu suprimento para o consumo e higiene das populações, bem como a evacuação dos dejetos. Essa proximidade era considerada, ainda, como um importante fator de produção para atividades agrícolas ou artesanais, favorecendo as comunicações, o comércio e o transporte. No entanto, apesar dos grandes benefícios, os excessos de vazões, provocando grandes inundações eram bastante freqüentes, e levavam a grandes perdas em vários setores da comunidade.

Conforme Baptista e Nascimento (2001), nas Idades Antiga e Média, a implantação das cidades ao longo dos cursos de água desempenhava ainda um importante papel militar, favorecendo a defesa do meio urbano. As cidades eram implantadas, principalmente, em ilhas (Paris) ou em elevações junto a meandros ou penínsulas (Lyon).

Ao longo do tempo, a ocupação das terras em áreas urbanas se tornou socialmente estratificada, com as populações menos favorecidas ocupando as áreas mais baixas e, portanto, sujeitas aos efeitos das freqüentes inundações. Baptista e Nascimento (2001) ressaltam que, durante a Idade Média, não foram implantados novos sistemas de evacuação e não houve manutenção dos sistemas antigos, construídos pelos romanos, que acabaram por cair em desuso. Esse fato levou a condições de vida bastante insalubres nas cidades, com a presença constante de lama e esgotos junto ao sistema viário.

Tudo isso acarretou, posteriormente, em grandes problemas como as epidemias de cólera e tifo, que assolaram a Europa no século XIX. Nesse momento surgiram, então, os princípios do higienismo que preconizavam, conforme Baptista e Nascimento (2001), a condução das águas pluviais através de condutos por gravidade, com o objetivo de permitir a circulação viária e o desenvolvimento urbano. Bertrand-Krajewski (2000) compara os sistemas urbanos de água propostos nesse período à circulação sanguínea, por meio da associação do sistema arterial ao abastecimento de água e do sistema venoso à evacuação das águas residuais.

Todos esses problemas foram ampliados devido à coincidência com uma das mais significativas manifestações humanas do século XIX, nos países industrializados: a urbanização. Esse movimento iniciou-se com a primeira revolução industrial e a descoberta de problemas epidemiológicos devidos à grande concentração de indivíduos nas cidades.

Isso levou, segundo Chocat (1997), aos primeiros estudos em hidrologia urbana, com a determinação das bases do ciclo hidrológico em meio urbano pelos primeiros cientistas na área, sendo eles: Kuilching (1889) nos Estados Unidos, Burkli-Ziegler (1880) na

Suíça, Lloyd-Davis (1906) no Reino Unido e Belgrand (1857, 1887) na França. Suas análises foram, no entanto, frequentemente transformadas em regras simples de engenharia mascarando totalmente a complexidade dos mecanismos hidrológicos urbanos.

Alguns anos depois, no final da primeira metade do século XX, os engenheiros começaram a se preocupar mais em estudar esses assuntos, enfocando seu trabalho na produção de guias e normas técnicas, algumas com grande reconhecimento internacional, como é o caso de Metcalf e Eddy nos Estados Unidos e Karl Imhoff na Alemanha.

No final da década de 50, a revolução dos modos de produção agrícola e o crescimento da produção industrial levaram a uma explosão demográfica urbana nos países industrializados. A urgência na ação de construir acarretou uma redução nas reflexões sobre as conseqüências da urbanização no ciclo da água. No final dos anos 60, as conseqüências desse fato vão aparecer, com inundações freqüentes, no disfuncionamento dos sistemas coletores e poluições graves dos meios receptores, dando origem à nova hidrologia urbana.

2.2- Problemática da Drenagem Urbana e Tendências

A partir da segunda metade do século XX, com o início de um crescente processo de urbanização, pode se perceber uma grande tendência da população mundial em se mudar para as cidades, à procura de um melhor padrão de vida. Segundo dados da I.A.U.R.I.F (1997), a população urbana mundial, que representava 25% do total em 1950 deve superar 60% no ano 2025. Esse fenômeno pode ser também verificado de forma bem clara no Brasil, ao observar que, segundo dados do censo demográfico realizado pelo IBGE (2000), a população urbana brasileira já chega a 81% do total.

Com isso, diversas alterações no meio ambiente podem ser percebidas, provocando mudanças no ciclo hidrológico. Essas mudanças se referem, segundo Chow *et al.* (1988), ao aumento das áreas impermeáveis e, com isso, à redução da infiltração, resultando no aumento do volume de escoamento superficial.

Esses efeitos, associados à concepção clássica dos sistemas de drenagem urbana, levaram ao aumento da magnitude dos picos de cheia e à freqüente ocorrência de crises de funcionamento, resultando em inundações de áreas urbanas, com seus impactos sociais, econômicos e ambientais.

Em paralelo, ao analisar em relação ao ponto de vista ambiental, os impactos da urbanização são também significativos. Ellis e Hvited-Jacobsen (1996), *apud* Baptista e Nascimento (2001) afirmam que a carga de poluentes presente nas águas pluviais mostra-se bastante expressiva, sendo muitas vezes equivalente ou mesmo superior à carga referente aos esgotos sanitários.

O crescente foco da mídia em relação a questões ambientais tem levado à conscientização da população em busca de discussões e soluções para esses problemas,

o que reflete em uma grande demanda pela valorização da paisagem urbana e da melhoria da qualidade de água.

Sendo assim, devido aos vários fatores já assinalados, como o aumento dos processos de urbanização e seus efeitos sobre os sistemas de drenagem e as novas discussões em relação às questões ambientais, os estudos referentes aos problemas da drenagem urbana tornaram-se bastante importantes. Segundo Baptista e Nascimento (2001), ao estudar novas alternativas para sistemas de drenagem urbana, devem ser avaliados, além de critérios técnicos, aspectos sociais, sanitários e paisagísticos, dentre outros. Essa nova abordagem deve ser realizada ainda, de acordo com os princípios do desenvolvimento sustentável, levando em consideração quaisquer questionamentos em relação às ligações entre os aspectos ambientais e a sociedade em geral.

2.3- Sistemas Clássicos e Alternativos

2.3.1- Sistemas Clássicos

O princípio básico dos sistemas clássicos de drenagem urbana é a captação e condução das águas pluviais em condutos artificiais, preferencialmente subterrâneos, sendo este escoamento realizado por gravidade.

Esses sistemas se constituem, basicamente, de dispositivos de captação das águas superficiais, de estruturas de condução dessas águas, na forma de canais abertos ou condutos enterrados e, em alguns casos, de obras complementares como bueiros e dissipadores de energia.

Apesar desses sistemas serem utilizados há algum tempo, baseados no princípio já definido anteriormente do higienismo, Baptista e Nascimento (2001) mostram que a intensificação dos processos de urbanização evidenciou diversos de seus limites em relação à sua real eficácia:

- Com o escoamento rápido das águas pluviais referentes às áreas urbanizadas, o problema de inundação é transferido para jusante. As novas áreas urbanizadas tendem a provocar inundações nas áreas de jusante;
- Esse efeito leva à construção de novas obras de drenagem a jusante, com o aumento da seção transversal de canais naturais ou a substituição de condutos antigos por novos, de maiores dimensões. Essas obras são de custo bastante elevado;
- Com a canalização dos cursos de água, a população recebe uma falsa idéia de segurança, em relação aos problemas de inundações, tendendo a ocupar as áreas ribeirinhas. Sendo assim, essas áreas são ocupadas, por falta de opções, pelas populações de baixa renda, o que leva, muitas vezes, a perdas de vidas humanas e prejuízos econômicos consideráveis devidos aos eventos freqüentes de inundações;
- Na maioria das vezes, as soluções clássicas não levam em consideração problemas existentes de qualidade da água. Estes podem acarretar crises no funcionamento do sistema de drenagem, devido à deposição de sedimentos advindos de processos erosivos intensificados pela urbanização e por deficiências no sistema de limpeza urbana.

2.3.2- Sistemas Alternativos

A partir da descoberta das diversas limitações dos sistemas clássicos, demonstrando características de não-sustentabilidade, uma vez que são limitados os usos presentes e futuros da água em meio urbano de forma quase sempre irreversível (Baptista e Nascimento, 1996), o meio técnico vem direcionando suas pesquisas em drenagem urbana para o desenvolvimento de técnicas alternativas às soluções clássicas. Essas novas técnicas buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, beneficiando a qualidade de vida e a preservação ambiental. Diversos estudos têm sido desenvolvidos, principalmente, na América do Norte e na Europa, apresentando grande variedade e amplitude de soluções, podendo ser citados: na França, Azzout *et al.*, 1994; STU, 1991 e STU e Agences de l'eau, 1994; nos Estados Unidos, Urbonas e Stahre, 1993; e no Canadá (Wisner, 1984).

Segundo Baptista e Nascimento (1996), as novas tecnologias podem ser consideradas como alternativas em relação às outras, por considerarem os impactos da urbanização de forma global. Além disso, essas novas tecnologias têm obtido grande aceitação, por permitirem a continuidade do desenvolvimento urbano, sem gerar custos excessivos, e propor o tratamento conjunto das questões de drenagem pluvial em meio urbano com outras questões urbanísticas. Tudo isto leva a uma grande contribuição para a melhoria das condições de vida e preservação do meio ambiente, com a redução dos impactos da poluição de origem pluvial.

Essas novas tecnologias, alternativas aos sistemas convencionais de drenagem urbana, baseiam-se, principalmente, na retenção e na infiltração das águas precipitadas, visando assim, à diminuição do volume escoado e ao rearranjo temporal das vazões e, conseqüentemente, reduzindo as probabilidades de inundações. Essas tecnologias podem assumir múltiplas formas como trincheiras, fossas, valas, pavimentos dotados de estruturas de reservação, poços, telhados armazenadores, bacias de retenção secas ou com água *etc.* Além disso, essas tecnologias podem ser utilizadas em diferentes escalas, desde pequenas parcelas até o projeto de sistemas de drenagem para cidades inteiras, além de poderem ser facilmente integradas ao meio ambiente, permitindo usos diversos pela população, como áreas de estacionamento, áreas para a prática de esportes, áreas de parques ou de lazer inundáveis.

Baptista (2001) classifica essas técnicas em três tipos distintos, segundo a forma de controle de vazões:

- Técnicas para controle na fonte: poços de infiltração ou telhados armazenadores;
- Técnicas para controle nos sistemas viário e de drenagem: pavimentos porosos, valas, valetas ou áreas de armazenamento em pátios ou estacionamentos;
- Técnicas para controle centralizado: Bacias de retenção ou infiltração.

A seguir, nos próximos itens, as principais técnicas já estudadas serão descritas de forma sucinta, mostrando seus princípios básicos, vantagens e inconvenientes, além de seus usos principais e alguns exemplos da utilização.

a) Bacias de detenção

a.1) Caracterização

As bacias de detenção são obras hidráulicas de drenagem urbana com a finalidade de estocar temporariamente e/ou infiltrar as águas pluviais, determinando o rearranjo temporal e/ou a redução das vazões escoadas. De acordo com a sua forma de trabalho, as bacias de detenção podem ser divididas em:

- Bacias de retenção, quando a finalidade única é a de estocar temporariamente as águas, proporcionando o rearranjo temporal das vazões;
- Bacias de infiltração, com a finalidade de infiltrar a totalidade das águas pluviais, determinando um volume de escoamento nulo a jusante;
- Bacias de retenção e infiltração, unindo as características das duas primeiras, infiltrando parte das águas pluviais, de forma a reduzir os volumes escoados a jusante e assim, proporcionando o rearranjo temporal das vazões.

Elas podem ser classificadas, ainda, segundo a sua aparência em bacias a céu aberto e bacias enterradas. STU e Agences de l'eau (1994) dividem as bacias a céu aberto em:

- Bacias com água, quando são preenchidas com água permanentemente. Este tipo de bacia deve ter uma profundidade suficiente para evitar a sua ocupação por plantas aquáticas a partir do fundo. Além disso, é importante que seja garantida a sua alimentação durante os períodos secos, que geralmente é feita através do lençol freático;
- Bacias secas que, como o próprio nome indica, possuem água apenas durante os períodos chuvosos, estando secas na grande maior parte do tempo;
- Bacias em zona úmida, utilizando áreas não ocupadas naturalmente inundáveis.

As bacias enterradas não ocupam áreas de superfície, sendo assim, não competem com outros equipamentos urbanos pela ocupação de espaços. Entretanto, necessitam de grandes trabalhos de engenharia civil e, sendo construídas a profundidades às vezes elevadas, necessitam da utilização de bombas para o seu esvaziamento.

As bacias de detenção, pelo porte e atividades desempenhadas, causam alguns impactos importantes na região, podendo ser positivos ou negativos, devendo ser considerados no seu projeto. STU e Agences de l'eau (1994) definiram os principais impactos causados pelas bacias como sendo:

- Impactos sobre o regime hidrológico;
- Impactos sobre a qualidade das águas;
- Impactos sobre a paisagem urbana;
- Impactos sobre a qualidade de vida na região.

Impactos sobre o regime hidrológico

A obra de detenção de águas pluviais deve modificar o mínimo possível o regime hidrológico a jusante da bacia. A construção de bacias de retenção permite que as vazões restituídas sejam próximas daquelas observadas para a bacia em seu estado

“natural”. Para isso, é importante que o arranjo a ser implementado seja o que cause menor impacto, dentre as opções possíveis:

- Implantação de uma grande bacia a jusante;
- Implantação de algumas pequenas bacias, em série ou em paralelo, nas áreas públicas;
- Implantação de diversas pequenas bacias em nível de parcela, dispostas em paralelo.

A escolha da melhor forma de arranjo deve ser acompanhada de estudos de forma a verificar os principais pontos de possíveis inundações dentro da área do empreendimento, determinando, assim, o novo regime hidrológico na área do empreendimento. A análise hidrológica e hidráulica conjunta do sistema é extremamente importante na verificação de sua real eficácia.

Impactos sobre a qualidade das águas

A água de chuva, ao escoar sobre as superfícies urbanas, tem a função de “lavá-las”, carreando para jusante os poluentes gerados pelas atividades desenvolvidas na área. Sendo assim, a água que irá atingir a bacia estará degradada devido à presença de diversos poluentes como sedimentos, sais dissolvidos, pesticidas, óleos *etc.* A implantação da bacia determinará alguns impactos positivos em relação à qualidade das águas escoadas a jusante (STU e Agences de l'eau, 1994).

No caso de bacias com água, os principais impactos positivos serão:

- Diluição da poluição;
- Sedimentação de partículas sólidas em suspensão;
- Oxigenação da água, em contato com a atmosfera;
- Decomposição de matéria orgânica, sob a ação de bactérias aeróbias;
- Assimilação de elementos eutrofizantes pelos vegetais. Estes elementos são nutrientes a partir dos quais será fabricada sua própria matéria orgânica, utilizando energia solar (fotossíntese).

Em relação às bacias secas, podem ser observados os seguintes impactos positivos:

- É evitado o choque no curso de água receptor, com a restituição lenta das águas a jusante;
- As matérias em suspensão sedimentam-se, devendo, no entanto, ser limpas pela manutenção logo após o período chuvoso.

As bacias enterradas também possuem alguns impactos positivos quanto à qualidade das águas, podendo ser exemplificada a sua decantação ao passar pela bacia.

É importante ressaltar, entretanto, que em hipótese alguma as bacias podem ser utilizadas apenas com a finalidade de recepção de águas residuárias, devido à sua grande concentração de poluentes, o que pode comprometer a sua vida útil, bem como todo o ambiente do empreendimento.

Impactos sobre a paisagem urbana

Os projetos de urbanismo de grandes empreendimentos residenciais, industriais ou comerciais sempre incluem superfícies de água, com a finalidade de animar e valorizar a obra, tornando-a mais agradável. Portanto, na etapa de projeto de sistema de drenagem em que for prevista a utilização da técnica de bacias de retenção e/ou infiltração, é importante a consulta a arquitetos especialistas em paisagismo e urbanismo. Estes especialistas terão a função de fazer com que a construção da bacia cause impactos paisagísticos positivos na área.

Impactos sobre a qualidade de vida

A presença de água em meio urbano exerce sobre a população um poder de atração bastante forte, valorizando o entorno da bacia e determinando a concentração de pessoas. Sendo assim, é importante que haja, no momento de construção da obra, uma grande preocupação social informando a população acerca das funções desempenhadas pela bacia e sua operação, manutenção e problemas possíveis. Desta forma, com a população esclarecida, a bacia construída poderá desempenhar um importante papel na melhoria da qualidade de vida da população residente na área próxima.

a.2) Vantagens e inconvenientes

O objetivo principal das bacias é a proteção contra inundações. No entanto, este tipo de obra pode desempenhar outras funções, determinando grandes vantagens em relação a outras obras hidráulicas, segundo Certu (1998):

- Efeito paisagístico, com a criação de áreas verdes em meio urbano;
- Criação de áreas de lazer, para desempenho de atividades náuticas e de pesca, nos casos das bacias com água;
- Armazenamento de volumes de água que podem ser utilizados para outros fins, como por exemplo reserva para incêndio ou irrigação de jardins, em pequenas bacias construídas nos lotes;
- No caso das bacias de infiltração, há um grande ganho com a recarga de aquífero e a não necessidade de exutório, além da ausência de tubulação de descarga a jusante;
- No caso das bacias secas, suas áreas podem ser utilizadas para a prática de esportes, como futebol, tênis, vôlei e outros;
- As bacias podem servir ainda como reserva ecológica, em áreas ainda não completamente urbanizadas, preservando uma fauna e flora diversificada;
- Quanto ao aspecto da qualidade das águas há ainda um efeito positivo, uma vez que, ao escoar pela bacia, a água é decantada e são depositadas partículas sólidas no fundo.

No entanto, alguns inconvenientes podem ser percebidos como (Certu, 1998):

- Risco à segurança dos moradores às suas margens;
- Ocupação de grandes áreas;
- Risco de poluição de aquífero, nos casos de bacias de infiltração;

- Risco de proliferação de insetos e doenças veiculadas por eles nas áreas próximas à da bacia.

a.3) Modos e exemplos de utilização

As bacias de retenção e/ou de infiltração podem ser utilizadas em diferentes arranjos, de forma a provocar os melhores resultados no tocante ao atendimento dos objetivos principais da obra. Estes principais arranjos possíveis, conforme já citado anteriormente, podem ser:

- Implantação de uma grande bacia a jusante;
- Implantação de algumas pequenas bacias, em série ou em paralelo, nas áreas públicas;
- Implantação de muitas pequenas bacias em nível de parcela, dispostas em paralelo.

A técnica da utilização de bacias como estruturas hidráulicas de drenagem urbana para amortecimento de cheias é muito antiga, com algumas já implantadas a cerca de 30 anos e com bastante sucesso. Sendo assim, podem ser citados alguns exemplos como os seguintes, em Belo Horizonte:

- Barragem de Santa Lúcia, drenando o córrego Leitão;
- Barragem da Pampulha, drenando os córregos Sarandi e Ressaca.

Podem ser citados, ainda, alguns estudos realizados em relação a este tema, como os de:

- Milograna (2001) que comparou, em sua dissertação de mestrado, a retenção de águas pluviais em lotes e em áreas públicas como alternativas de drenagem, em um estudo de caso na cidade de Goiânia;
- Cruz *et al.* (1998), que simularam a retenção em lotes com áreas variando de 300 a 600 m² na cidade de Porto Alegre. Neste estudo, foram variadas as áreas impermeabilizadas de cada lote, verificando os volumes necessários para a proteção contra chuvas de períodos de retorno de 2 e 5 anos.

b) Pavimentos com estruturas de reservação

b.1) Caracterização

A técnica de pavimentos com estruturas de reservação tem funcionamento da seguinte forma: a água de chuva é injetada diretamente pela superfície do pavimento (no caso de pavimentos porosos) ou através de drenos ou bocas de lobo (no caso de pavimentos impermeáveis ou estanques), que a levarão para o reservatório subterrâneo. Esta água é então armazenada nos vazios da estrutura do pavimento, por um período de tempo. Logo após, é então evacuada através da infiltração no solo e/ou de um sistema de drenagem.

Os pavimentos utilizados nesse tipo de estrutura podem ser porosos ou impermeáveis, determinando pequenas diferenças no modo de recolhimento das águas. No caso dos pavimentos porosos, as águas infiltram pelos seus poros diretamente para o reservatório subterrâneo. Quanto aos pavimentos impermeáveis as águas escoam para o reservatório por meio de drenos e bocas de lobo.

A Figura 2.1 mostra um esquema com as possibilidades de arranjos para os pavimentos dotados de estruturas de reservação.

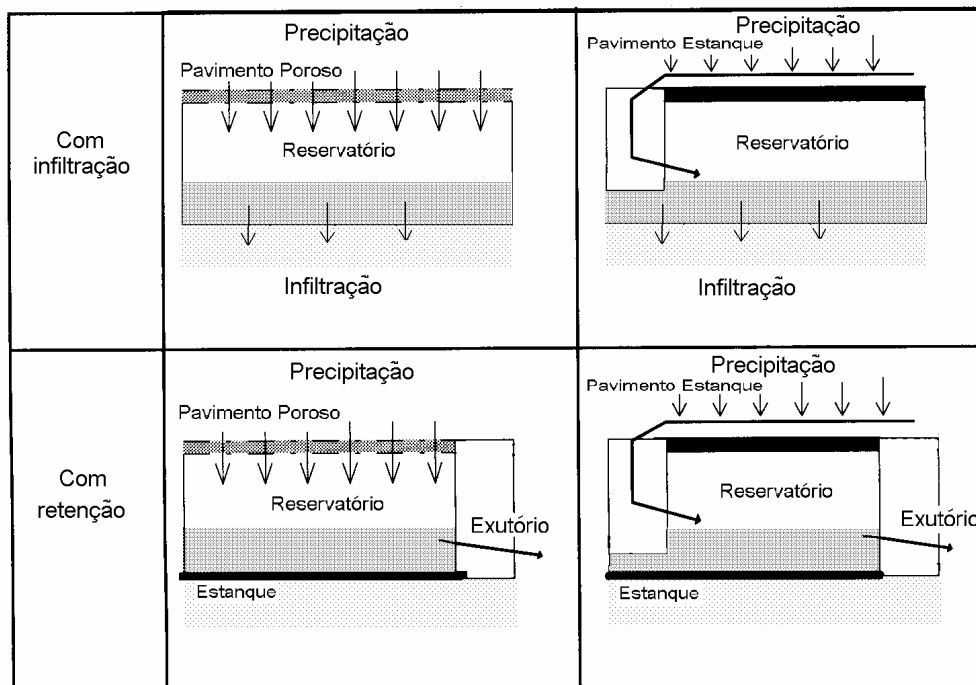


FIGURA 2.1 – Esquema com as possibilidades de arranjos para os pavimentos com estruturas de reservação (Azzout *et al.* 1994).

b.2) Vantagens e inconvenientes

A técnica de drenagem em questão pode ter diversas vantagens:

- Redução das vazões de pico, através do armazenamento temporário;
- Ganho financeiro, com a redução das dimensões das tubulações a jusante.

No caso da utilização de pavimentos porosos podem ser acrescentadas:

- Filtração dos poluentes;
- Redução dos níveis sonoros;
- Melhor aderência à circulação de veículos;
- Redução do risco de aquaplanagem;
- Melhor aspecto visual, devido à ausência de poças d'água.

Além desses, nos casos onde ocorre a infiltração no solo, uma grande vantagem pode ser a recarga do aquífero subterrâneo.

No entanto, a utilização dessa técnica pode apresentar alguns inconvenientes:

- Possibilidade de colmatação e necessidade de manutenção constante, principalmente nos casos de utilização de pavimentos porosos;
- Risco de poluição do lençol, nos casos onde ocorre a infiltração;
- Não há ainda muitos estudos ou experiências da utilização em áreas de grande tráfego de veículos.

Dentre os inconvenientes possíveis da utilização da técnica de pavimentos com estruturas de reservação pode ser destacado o risco de poluição do aquífero, nos casos onde ocorre a infiltração das águas. Entretanto, grande parte da poluição das águas escoadas está concentrada nos sólidos em suspensão. Essa poluição pode ser filtrada com a infiltração da água no solo, fazendo com que a técnica tenha também um objetivo de depuração das águas. Segundo Azzout *et al.* (1994), estudos na França demonstraram que a utilização da técnica de infiltração, em conjunto com o pavimento com estrutura de armazenamento, não tem grande probabilidade de poluir o lençol subterrâneo. No entanto, para reduzir ainda mais esse risco, devem ser instalados dispositivos próprios para depuração das águas além de manter a profundidade mínima de 1,0m entre a base da estrutura e o nível mais alto do lençol subterrâneo.

Alguns benefícios específicos da utilização de pavimentos porosos podem ser ressaltados como a redução dos efeitos sonoros e a melhoria da aderência de veículos durante os eventos de chuva. No entanto, como inconveniente, pode ser ressaltada a possibilidade de colmatação dos seus poros prejudicando o seu desempenho.

Efeitos sonoros

São muitas as fontes de barulho nas cidades. No entanto, em grande parte dos casos, a circulação de automóveis é a mais importante delas. O ruído produzido por um veículo tem origens diversas: motor, escapamentos, ventiladores, freios, contato dos pneus com o pavimento *etc.* Na luta pela redução dos ruídos dos veículos, diversos progressos foram realizados pelas indústrias, principalmente com a redução sensível do barulho proveniente do motor e do escapamento. Com isso, segundo Azzout *et al.* (1996), os ruídos referentes ao contato dos pneus com o pavimento tornaram-se importantes em relação ao total produzido pelo veículo, principalmente em altas velocidades (acima de 50km/h). Os ganhos obtidos pelas indústrias de pneus não foram muito grandes. Nesse contexto, tornou-se necessário o desenvolvimento da natureza dos pavimentos.

Com isso, foi ampliado o estudo e a utilização dos pavimentos porosos, tendo eles um importante papel na redução do barulho produzido pelos veículos. Alguns parâmetros físicos dos pavimentos porosos são essenciais, segundo Azzout *et al.* (1996), na diminuição do barulho, em particular a porosidade e a espessura do pavimento. O pavimento poroso recebeu, então, um importante papel, de aumentar o conforto acústico das vias de circulação.

Aderência

A permeabilidade elevada dos pavimentos porosos tem a função de assegurar a evacuação rápida do volume de água precipitado, permitindo o contato correto entre os pneus e a superfície do pavimento durante os eventos de chuva. A presença de cavidades e a boa textura negativa das camadas de asfalto permitem uma boa drenagem e infiltração das águas de chuva no pavimento. Segundo pesquisa realizada por Pipien *et al.* (1992), para uma mesma velocidade, comparando pavimentos porosos e clássicos, foi verificado que:

- Em grandes velocidades, acima de 50km/h, a aderência em pavimentos porosos foi bem melhor que em pavimentos clássicos;
- Em baixas velocidades, as diferenças de aderência entre os pavimentos porosos ou clássicos não foram consideráveis.

Combelles (1991) verificou em sua pesquisa uma diminuição de 30% da frequência dos acidentes em uma estrada, ao comparar pavimentos porosos aos impermeáveis durante períodos de chuva. Sua pesquisa foi realizada em uma seção de 50km de uma estrada, por um período de 4 anos. A pesquisa mostrou ainda que, com a superfície seca, não há diferença entre a aderência dos pneus entre pavimentos porosos ou clássicos.

Colmatação

O efeito da colmatação é o principal problema em relação aos pavimentos porosos. Com o fenômeno da colmatação, os poros superficiais são entupidos, fazendo com que estes pavimentos percam suas principais características e propriedades.

Vários são os fatores que podem causar ou amplificar os efeitos da colmatação. O aporte de solo, carreado pelo escoamento das águas pluviais, pode ser o principal. No entanto, a presença de poeira, folhas, chicletes, dejetos animais, cascas de frutas, pedaços de cigarro, papel, cimento e muitos outros materiais que são deixados sobre os pavimentos podem ampliar os efeitos da colmatação.

É importante ressaltar que, segundo Azzout *et al.* (1996), a colmatação é mais rápida e forte em vias lentas ou de pouca circulação. Quanto maior for a circulação de veículos, mais importante é o efeito da “autolimpeza”, realizado pelo contato dos pneus com a superfície do pavimento.

b.3) Modos e exemplos de utilização

Os pavimentos com estruturas de reservação podem ser utilizados em diferentes espaços urbanos como: estacionamentos, praças, ruas, vias de pedestres, passeios, áreas de esportes *etc.* Em áreas urbanas, estas superfícies podem representar espaços consideráveis. Segundo Raimbault *et al.* (1985) *apud* Azzout *et al.* (1996), em áreas densamente urbanizadas, a superfície de vias urbanas e áreas de estacionamento pode corresponder a cerca de 15 a 30% da área da bacia.

Não há conhecimento da utilização dessa técnica no Brasil. No entanto, podem ser citados alguns exemplos de sua utilização com sucesso na França (Balades e Raimbault 1990 e Certu, 1998):

- Em Rezé, foram utilizados pavimentos porosos com a finalidade de retenção e rearranjo temporal das vazões escoadas a jusante;
- Em Bègles, essa técnica foi utilizada com a infiltração das águas no solo, reduzindo o volume escoado a jusante;
- Em Bordeaux na Technopolis, uma área de grandes indústrias de alta tecnologia, a técnica em questão teve a finalidade apenas de retenção, proporcionando o rearranjo temporal das vazões a jusante.

c) Poços de Infiltração

c.1) Caracterização

A técnica de poços de infiltração, como o próprio nome informa, visa evacuar as águas de chuva diretamente no solo através de infiltração. Segundo Azzout *et al.* (1996), os poços de infiltração são geralmente utilizados para drenar áreas de poucos milhares de metros quadrados. Uma de suas características mais importantes é o fato de poder ser aplicada em regiões onde o solo superficial tem pouca permeabilidade, mas as camadas mais profundas do solo grande permeabilidade.

A recepção das águas pluviais pode ser feita por vertimento através de sua superfície ou da rede de drenagem. As Figuras 2.2 e 2.3 mostram as duas formas de recepção das águas pluviais. A água é então armazenada no poço, que pode ser preenchido ou não com algum material de grande porosidade de forma a não reduzir muito a capacidade de armazenamento. Logo após, a água é evacuada através de infiltração. Em relação ao tipo de infiltração das águas, pode haver dois tipos de poços:

- Poços de absorção, em que a água é evacuada através de um solo não saturado, bem acima do lençol subterrâneo;
- Poços de injeção, em que a água é infiltrada diretamente no lençol subterrâneo.

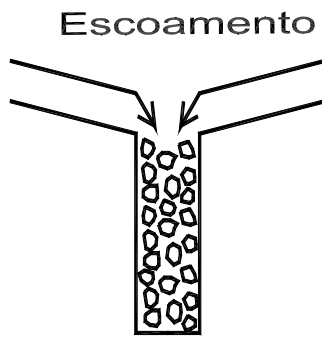


FIGURA 2.2 – Esquema de um poço de infiltração com vertimento superficial

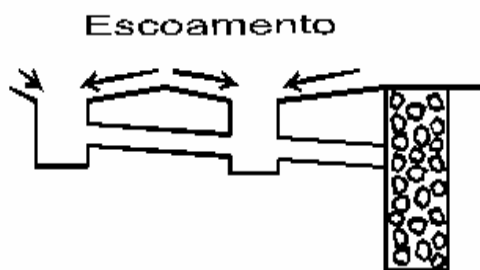


FIGURA 2.3 – Esquema de um poço de infiltração com recepção das águas por meio das redes de drenagem

c.2) Vantagens e inconvenientes

Como as outras técnicas consideradas alternativas ou compensatórias, os poços de infiltração permitem reduzir os volumes drenados pelos sistemas clássicos. Uma grande característica dos poços de infiltração é o fato de poderem ser usados conjuntamente com outras técnicas com a função de exutório, no caso de trincheiras de retenção ou de valetas, por exemplo.

As principais vantagens da utilização de poços de infiltração podem ser:

- Redução dos volumes drenados pela rede de drenagem clássica;
- Ganho financeiro, com a redução das dimensões das tubulações de drenagem clássica;
- Baixos custos de investimento;
- Boa integração com o meio urbano;
- Não necessita de exutório;
- Boa utilização no caso de solos superficiais pouco permeáveis e camadas profundas com grande capacidade de infiltração;
- Possibilita recarga do aquífero;
- Permite o desenvolvimento da vegetação próxima ao poço;
- Não há grandes restrições em função da topografia.

Entretanto, alguns inconvenientes podem ser verificados pela utilização de poços de infiltração, tais como:

- Possibilidade de colmatção das superfícies de infiltração;
- Necessidade de manutenção regular;
- Risco de poluição do lençol subterrâneo;
- Baixa capacidade de armazenamento.

A principal vantagem dos poços de infiltração a ser ressaltada é a recarga do aquífero subterrâneo. No entanto, deve ser verificada a qualidade das águas a serem infiltradas de forma a evitar a sua contaminação, por águas poluídas.

No caso de poços de injeção, em que o nível do lençol está muito próximo da base do poço, deve se tomar cuidado para que apenas águas praticamente sem poluição alguma sejam infiltradas, como águas vindas diretamente do armazenamento em telhados.

No caso de poços de absorção, apenas as águas muito poluídas ou com um grande risco de poluição acidental não podem ser infiltradas. No entanto, devem ser instalados dispositivos de pré-tratamento como filtros ou decantadores, para que seja reduzida a possibilidade de poluição do lençol. Além disso, Azzout *et al.* (1996) recomendam que seja mantida uma distância mínima de pelo menos 1,0m entre a base do poço e o nível mais alto do lençol.

Em relação aos inconvenientes, pode ser ressaltada a possibilidade de colmatção como sendo a mais prejudicial ao desempenho da técnica. A colmatção de poços de infiltração é um problema que deve ser tratado com muito cuidado pois pode reduzir bastante e até anular a possibilidade de infiltração de água. A principal causa da colmatção dos poços é a presença de partículas finas, folhas e outros materiais carregados pelo escoamento superficial.

A evolução do efeito de colmatção em um poço vai depender de vários aspectos. Caso haja algum tipo de tratamento nas águas, como filtros ou decantadores, a montante da afluição das águas ao poço, a colmatção se dará de forma mais lenta, aumentando a durabilidade do poço. Em poços ociosos, a tendência é que a colmatção seja mais sentida no fundo e nas partes inferiores das laterais. No caso de poços preenchidos com algum material poroso, a colmatção é mais significativa entre os poros do material de preenchimento.

c.3) Modos e exemplos de utilização

Os poços de infiltração podem facilmente se integrar ao meio urbano, podendo ser implantados em áreas coletivas como parques ou praças ou em terrenos particulares, fazendo a drenagem de pequenas áreas. A vantagem da utilização de poços de infiltração para a drenagem de menores áreas é que podem ter profundidades menores. Thomachot (1979) recomenda que eles sejam empregados principalmente em áreas em que não haja a possibilidade da utilização de um exutório.

Os poços de infiltração podem ser implantados associados a outras técnicas alternativas como valetas, trincheiras, bacias de retenção. Dessa forma, as outras técnicas atuam

com a função de fazer o rearranjo temporal de vazões afluentes, além de melhorarem a qualidade da água a ser infiltrada. Nesses casos, as dimensões dos poços podem ser reduzidas e a manutenção pode ser feita com maiores intervalos de tempo pois as vazões a serem infiltradas terão menores quantidades de finos e o risco de poluentes será menor, reduzindo o efeito de colmatação e a probabilidade de poluição do aquífero.

O início da utilização da técnica de poços de infiltração para drenagem data de meados do século XVIII ao início do século XIX, na França. Até hoje essa técnica é muito utilizada na França em grandes cidades como Lyon e Marselha. Em outros países como Alemanha, Inglaterra, Itália e Estados Unidos, são muito utilizados os poços de injeção. Em países como Japão e Austrália a construção de poços de infiltração é mais recente, iniciando na década de 90.

No Brasil, através da bibliografia consultada, não foi possível encontrar exemplos já executados da utilização desta técnica alternativa de drenagem urbana.

d) Telhados armazenadores

d.1) Caracterização

Uma das principais conseqüências da urbanização é a impermeabilização dos solos, principalmente através das construções prediais. Sendo assim, uma das possibilidades para redução do escoamento das águas de chuva é o armazenamento provisório dessas águas nos telhados, limitando a descarga a uma determinada vazão máxima através de dispositivos de regulação de vazão. A Figura 2.4 mostra um esquema de um telhado armazenador com o dispositivo de regulação de vazão.

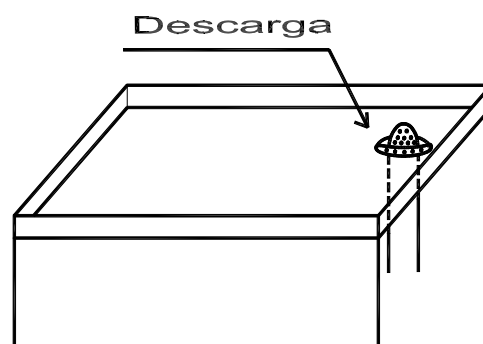


FIGURA 2.4 – Esquema de um telhado armazenador com o dispositivo de descarga.

Essa técnica de armazenamento de água nos telhados pode ser utilizada isoladamente em uma construção ou planejada para uma região inteira.

Azzout *et al.* (1996) recomendam que essa técnica seja utilizada para telhados com declividade nula ou variando de 0,1 a 5,0%.

d.2) Vantagens e inconvenientes

Os telhados armazenadores podem ser utilizados em novas construções, já planejados para este fim, ou em construções já existentes, após ser verificada a estabilidade da estrutura e a sua estanqueidade.

As principais vantagens da utilização desse tipo de técnica podem ser:

- Redução da vazão escoada a jusante;
- Ganho financeiro, com a redução das dimensões das tubulações a jusante;
- Diminuição do risco de inundação, com a redução dos picos de vazões escoadas;
- Não necessita muitos investimentos;
- Boa integração no meio urbano;
- Não há diferenças técnicas na construção em relação aos telhados convencionais.

No entanto, podem ser observados alguns inconvenientes da utilização da técnica de telhados armazenadores, como:

- Necessidade de uma manutenção regular;
- Necessidade de cuidados como cálculos de estabilidade para a utilização sobre telhados existentes;
- Dificuldade da utilização em telhados com declividades elevadas;
- Necessidade de precauções adicionais em relação à estanqueidade.

d.3) Exemplos de utilização

Os telhados armazenadores têm sido utilizados de maneira regular em diversos estados norte americanos, principalmente em regiões da Pensilvânia e Virgínia.

Na França, foram descobertos exemplos da utilização dessa técnica na cidade de Aix, na região Provençal (Azzout *et al.*, 1994), e em Lyon (Baptista *et al.*, 2001).

Não há conhecimento da utilização deste tipo de técnica em empreendimentos no Brasil.

Há diversas preocupações em relação à utilização dessa técnica, no entanto, segundo Azzout *et al.* (1996), esse receio pode ser minimizado ao verificar que:

- Para as chuvas de grandes intensidades, os telhados tradicionais já funcionam, em grande parte das vezes, como armazenadores em razão da falta de limpeza e manutenção dos dispositivos de descarga de água;
- As sobrecargas normalmente consideradas para o cálculo de estabilidade de estruturas são superiores ao volume de água a ser armazenado.

e) Trincheiras

e.1) Caracterização

A trincheira é uma obra subsuperficial linear, com a finalidade de recolher as águas pluviais através de suas laterais e escoá-las por meio de um exutório ou da infiltração.

Sua largura e profundidade têm pequenas dimensões, geralmente não ultrapassando um metro. Elas podem ser revestidas por vários tipos diferentes de material, como asfalto poroso, concreto, grama ou enrocamento, e podem ser utilizadas em estacionamentos de centros comerciais, no passeio ao longo de uma via ou em jardins. A água é coletada através de drenos ou através do escoamento superficial. Quanto à forma de evacuação das águas, as trincheiras podem ser classificadas em:

- Trincheiras de infiltração ou absorção, quando a evacuação é feita por infiltração no solo;
- Trincheiras de retenção quando há um exutório e a finalidade principal da obra é o rearranjo das vazões escoadas no tempo.

A Figura 2.5 mostra o esquema de uma trincheira.

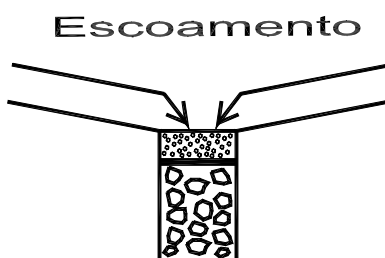


FIGURA 2.5 – Esquema de uma trincheira.

e.2) Vantagens e inconvenientes

A infiltração das águas estocadas em uma trincheira ou a retenção das águas, provocando o rearranjo temporal de vazões, permite que o escoamento seja reduzido, aliviando as estruturas de jusante. As principais vantagens da utilização de trincheiras podem ser:

- Redução das vazões de pico escoadas a jusante;
- Ganho financeiro, com a redução das dimensões das tubulações a jusante;
- Por ser uma técnica antiga, já bastante utilizada, é de fácil construção;
- Podem ser utilizados diversos tipos de material, de acordo com a disponibilidade e o projeto, como asfalto, concreto, grama ou cascalho;
- É uma técnica que se integra ao meio urbano com grande facilidade, ocupando pequenos espaços.

No caso das trincheiras de infiltração, podem ser acrescentadas como vantagens, a recarga do aquífero subterrâneo e o fato de não necessitar da implantação de um exutório.

No entanto, há alguns inconvenientes da utilização de trincheiras, como:

- A necessidade de uma manutenção constante;
- O fato de não poder ser utilizada em áreas de forte declividade;
- O risco de poluição do lençol, no caso de trincheiras de infiltração;
- Possibilidade de colmatção.

Dentre as vantagens da utilização de trincheiras de infiltração, pode ser ressaltada a possibilidade de recarga do aquífero e o favorecimento ao desenvolvimento de vegetação às suas margens. Por outro lado, não pode ser desconsiderado o risco de poluição do lençol. Para isso, a qualidade das águas infiltradas deve ser monitorada. Além disso, se o nível do lençol for muito alto, a capacidade de reservação de água pode ser bastante reduzida. No caso de trincheiras de infiltração, Azzout *et al.* (1996) recomendam que seja considerada uma zona não saturada de pelo menos 1,0m de profundidade em relação ao lençol subterrâneo, de forma a conservar uma zona razoável de infiltração. Além disso, para que sejam reduzidos os riscos de poluição do lençol, podem ser instalados alguns dispositivos como uma caixa para decantação da água antes da infiltração.

Azzout *et al.* (1996) afirmam ainda que, para evitar a poluição ao lençol, é desaconselhada a utilização de trincheiras de infiltração em que as águas pluviais são injetadas diretamente no aquífero.

Dentre os inconvenientes das trincheiras, a possibilidade de colmatção é a mais importante e deve ser ressaltada. Ela deve ser considerada na análise de um projeto de trincheiras pois pode levar o funcionamento hidráulico do sistema ao colapso. A principal causa do efeito de colmatção é a presença de finos na água escoada, e que podem obstruir os poros ou ocupar os vazios existentes com a função de reservação. Deve ser realizada manutenção freqüente, com a finalidade de reduzir a sua evolução ou ao menos diminuir suas conseqüências. Entretanto, Azzout *et al.* (1996) afirmam que o problema da colmatção observado nas trincheiras é menor que nos poços de infiltração pois nestes a infiltração é mais localizada.

O efeito da colmatção pode ter seus impactos sentidos tanto no fundo quanto nas paredes das trincheiras de infiltração, onde são recolhidas as águas escoadas.

e.3) Exemplos de utilização

Segundo Azzout *et al.* (1994), as trincheiras são utilizadas há algum tempo em diversos países como a Alemanha, Austrália, Estados Unidos, Inglaterra, Japão e Suécia. No Japão, a evacuação de águas provenientes de telhados de templos antigos, castelos ou antigas casas é feita através de simples trincheiras de cascalho. Na França, a técnica de trincheiras já é utilizada há algum tempo em obras de drenagem urbana em grandes cidades, como Bordeaux e Lyon.

No Brasil, o único exemplo encontrado de utilização dessa técnica em um empreendimento real (Baptista *et al.* 1998), foi no loteamento “Vivendas de Santa Mônica”, localizado no município de Igarapé, na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Nesse condomínio, com uma área total de 71,53ha, foram implantadas trincheiras de infiltração em todo o seu sistema viário de cerca de 7.100 metros de ruas, avenidas e praças.

Como estudo em desenvolvimento, pode ser citado o de Goldenfum e Souza (2001), em Porto Alegre, que realizaram estudos experimentais em trincheiras de infiltração simulando situações diversas de operação.

f) Valas e valetas

f.1) Caracterização

As valas são obras escavadas na terra, com grande largura e baixa declividade no sentido longitudinal, e as valetas podem ser definidas como valas de pequena profundidade. Suas funções principais são de reduzir os picos de vazões escoadas através de infiltração e/ou da retenção, com o rearranjo temporal dessas vazões. As Figuras 2.6 e 2.7 mostram, respectivamente, esquemas de uma vala de infiltração e de retenção.

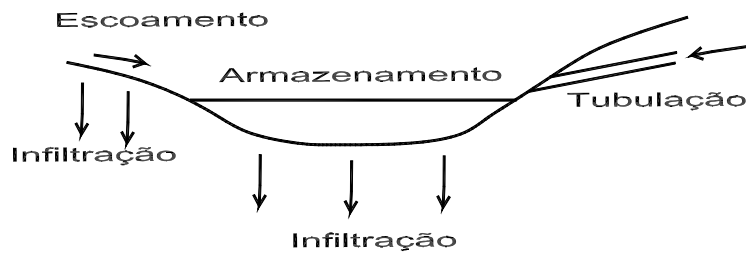


FIGURA 2.6 – Esquema de uma vala de infiltração.

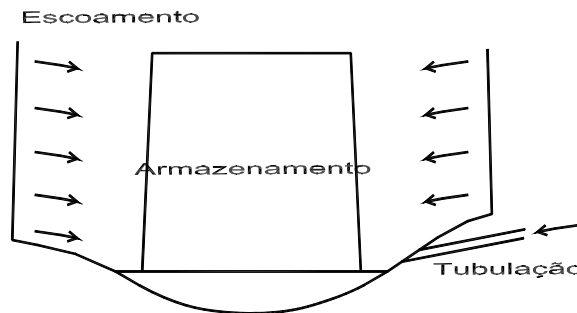


FIGURA 2.7 – Esquema de uma vala de retenção.

O princípio de funcionamento das valas e valetas é simples. As águas pluviais escoam para o interior delas através das superfícies laterais e, em alguns casos, da rede de drenagem. O armazenamento das águas realiza-se no interior estrutura, ao ar livre. A

evacuação das águas pode ocorrer através de infiltração ou por um exutório, podendo ser divididas então em valas ou valetas de retenção ou de infiltração.

f.2) Vantagens e inconvenientes

As valas e valetas são geralmente utilizadas às laterais de rodovias ou ruas em áreas não densamente urbanizadas, e servem de exutório natural às águas pluviais escoadas. As principais vantagens das outras técnicas alternativas, como o rearranjo temporal de vazões e a redução das vazões escoadas a jusante, através de infiltração, são também asseguradas pela técnica de valas e valetas. Essas principais vantagens são:

- Ganho financeiro com a redução das dimensões das tubulações da rede de drenagem convencional;
- Podem ser integradas facilmente ao paisagístico e em áreas de lazer ou de esportes;

No caso específico das valas ou valetas de infiltração, podem ser acrescentadas também como vantagens a não necessidade de exutório e a recarga do aquífero subterrâneo.

No entanto, alguns inconvenientes podem ser destacados:

- Grande risco de colmatação;
- Necessidade de manutenção regular;
- Risco de poluição do aquífero, no caso de valas ou valetas de infiltração;
- Risco de estagnação da água.

f.3) Exemplos de utilização

As valas ou valetas são utilizadas na França há algum tempo principalmente para a drenagem de rodovias ou grandes estacionamentos. Como exemplo de área drenada por valas ou valetas, Azzout *et al.* (1994) citam a área de um loteamento de 4,2 ha em Bruges, realizada em 1986. Outra área citada é em Valence, onde para a drenagem de cerca de 120 ha foi usada uma conjugação de técnicas alternativas, com a utilização de valas e valetas, incluindo bacias de retenção e de infiltração.

No Brasil, por meio da bibliografia consultada, não foram encontrados exemplos da utilização dessa técnica com o objetivo estrito de rearranjo temporal de vazões. Entretanto, em drenagem rodoviária frequentemente são utilizados estes dispositivos.

2.4- Conclusões

Neste capítulo foi apresentada a evolução das tecnologias de drenagem urbana, desde tempos antigos até hoje. No histórico, foram relatados os fundamentos básicos dos sistemas clássicos de drenagem urbana e os problemas enfrentados por estes, que levaram às novas soluções alternativas.

Na revisão bibliográfica realizada, foi constatada a existência de muitos estudos em relação às novas técnicas, chamadas de alternativas ou compensatórias, que buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos. Essas técnicas mostram, em alguns aspectos, serem vantajosas em relação às soluções clássicas. O

Quadro 2.1 apresenta uma síntese com as principais características das técnicas alternativas.

No entanto, conforme Barraud *et al.* (2000), mesmo parecendo indispensáveis ou ricas em potencialidades, estas soluções são frequentemente pouco ou mal utilizadas. Um dos fatores preponderantes para este fato reside não no conhecimento técnico propriamente dito das tecnologias alternativas, pois estas já estão razoavelmente bem estudadas e entendidas individualmente, mas sim na dificuldade da escolha do melhor arranjo de projeto a ser utilizado para uma dada situação. Geralmente para uma mesma área a ser estudada podem ser propostas diversas alternativas de projeto a partir de múltiplos pontos de vista (hidráulico, hidrológico, ambiental, urbanístico, paisagístico, social, *etc.*).

Cada uma dessas diversas alternativas de projeto tem características específicas de atendimento aos objetivos definidos para um sistema de drenagem. Nesse sentido, foi observada a necessidade de se criar uma metodologia que pudesse ser capaz de comparar diversas alternativas de projeto de sistemas de drenagem urbana, utilizando as diversas técnicas possíveis. Além disso, esta comparação deve ser não apenas em relação a critérios técnicos, mas também ambientais, sociais, sanitários, *etc.*

No próximo capítulo, serão abordados aspectos referentes às principais metodologias existentes para a comparação de alternativas de projeto e a necessidade da utilização de indicadores como parâmetros de comparação.

QUADRO 2.1 – Síntese das técnicas alternativas de drenagem urbana

Técnica	Princípio Básico	Principais Vantagens	Principais Inconvenientes
1- Bacias de detenção	Rearranjo temporal de vazões e/ou redução dos volumes escoados	Efeito paisagístico Criação de área de lazer Possibilidade de depuração das águas Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações a jusante Possibilidade de utilização dos volumes armazenados para outros fins	Ocupação de grandes áreas Risco de proliferação de insetos e doenças veiculadas por eles nas áreas próximas à da bacia
2- Pavimentos com estruturas de reservação	Rearranjo temporal de vazões e/ou redução dos volumes escoados	Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações a jusante No caso de pavimentos porosos, proporcionam a filtração de poluentes, redução dos níveis sonoros e a melhora na aderência de pneus durante eventos de chuva	Possibilidade de colmatação no caso de pavimentos porosos Necessidade de manutenção regular Insuficiência de estudos ou experiências da utilização em áreas de grande tráfego de veículos Risco de poluição do lençol, nos casos em que ocorrer infiltração
3- Poços de infiltração	Redução do volume escoado	Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações da rede Baixo custo de investimento Possibilita a recarga de aquífero Boa integração com o meio urbano	Possibilidade de colmatação no caso de pavimentos porosos Necessidade de manutenção regular Risco de poluição do lençol Baixa capacidade de armazenamento
4- Telhados armazenadores	Rearranjo temporal de vazões	Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações a jusante Baixo custo de investimento Não há diferenças técnicas na construção em relação aos telhados convencionais	Necessidade de manutenção regular Dificuldade da utilização em telhados com declividades elevadas Necessidade de precauções quanto à estanqueidade Necessidade de cuidados como cálculos de estabilidade ao utilizar em telhados existentes
5- Trincheiras	Rearranjo temporal de vazões e/ou redução dos volumes escoados	Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações da rede Fácil construção Boa integração com o meio urbano	Necessidade de manutenção regular Não pode ser utilizada em áreas com fortes declividades Risco de poluição do lençol, no caso de trincheiras de infiltração Possibilidade de colmatação
6- Valas e valetas	Rearranjo temporal de vazões e/ou redução dos volumes escoados	Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações da rede Fácil construção Boa integração com o meio urbano	Possibilidade de colmatação Necessidade de manutenção regular Risco de estagnação da água Risco de poluição do lençol, nos casos de valas ou valetas de infiltração

3- COMPARAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO

3.1- Considerações Iniciais

Para que pudessem ser realizadas as atividades de comparação de alternativas de projeto, de forma a escolher a melhor dentre elas, foi imprescindível aprofundar o conhecimento referente a alguns conceitos vinculados à utilização de indicadores como parâmetros de comparação, entender o funcionamento do ciclo de tomada de decisão, além de compreender as diversas metodologias existentes para a comparação de alternativas de projeto.

Nesse sentido, estes temas foram estudados e são expostos nesse capítulo os principais tópicos abordados, sendo eles:

- Utilização de indicadores como parâmetros de comparação
- Ciclo de tomada de decisão
- Metodologias para a Avaliação de Alternativas

3.2- Utilização de indicadores como parâmetros de comparação

3.2.1- Introdução

Indicadores são componentes essenciais no estudo global do progresso, em relação ao desenvolvimento sustentável. No entanto, há diversas definições conhecidas para indicadores, sem um consenso entre os estudiosos na área. Percebe-se grande ambigüidade e algumas contradições dentre as diversas conceituações existentes. Entretanto, algumas definições para o termo “indicador” podem ser citadas como mais utilizadas, dentro da comunidade científica:

- uma variável ligada hipoteticamente à variável estudada e que não pode ser diretamente observada (Chevalier *et al.* 1992);
- uma medida que resume as informações relevantes a um fenômeno particular, ou a uma aproximação razoável para o valor desta medida (Mc Queen e Noak, 1998);
- um parâmetro ou valor derivado de parâmetros que fornece informações sobre o estado de um fenômeno, com significância superior àquela diretamente associada àquele parâmetro (OECD, 1993, que ainda define parâmetro como uma propriedade medida ou observada).

Segundo pesquisa bibliográfica realizada por Moldan e Bilharz (1997), o termo indicador já foi definido como sendo uma variável, um parâmetro, uma medida, uma medida estatística, um valor, um instrumento de medição, um índice ou até uma fração em que é comparada uma quantidade (numerador), com um valor medido ou calculado cientificamente (denominador).

Destes, o termo que encontra maior aceitação é uma variável. Qualquer variável “indica” um atributo, que não é, necessariamente, um objeto real, e sim uma abstração

ou imagem do atributo. Quanto melhor a variável refletir o atributo e quanto mais significativa e relevante for esta informação para a tomada de decisão, mais bem escolhido terá sido aquele indicador para o propósito definido.

Nesse contexto, qualquer variável assume um significado referente ao seu valor, superior àquele obtido diretamente a partir de observações. É importante perceber que uma variável associada a um atributo de interesse fundamental para um processo de tomada de decisão é muito mais útil como indicador que uma variável associada a uma característica superficial ou isolada do sistema estudado.

A mais importante característica dos indicadores em relação a outras formas de informação é a sua grande relevância para uma determinada política de tomada de decisão. Nesse sentido, para que os indicadores possam ser relevantes, os atributos representados por eles devem ser considerados importantes pelos decisores e pela comunidade.

Segundo Moldan e Bilharz (1997), os indicadores desejáveis são aqueles que resumem ou simplificam informações, quantificando, medindo ou comunicando dados, de forma a tornar um determinado fenômeno compreensível por todos.

Os indicadores podem desempenhar várias funções, sendo as principais, as seguintes (adaptado de Tunstall 1992 e 1994):

- estudar condições e tendências;
- comparar lugares, situações ou alternativas;
- proporcionar antecedência ao advertir sobre algum efeito ou impacto de uma ação;
- prever futuras condições e tendências.

3.2.2- Indicadores e seus conceitos relacionados

Os indicadores podem ser variáveis simples ou funções de várias variáveis. Estas funções podem ser tão simples como uma razão, proporção ou um índice, dependendo de duas ou mais variáveis, ou tão complexas como o resultado de simulações através de modelos.

Os valores dos indicadores podem ser observados, calculados ou medidos diretamente na fonte. No entanto, na maioria das vezes, são derivados de dados primários processados e analisados, formando valores agregados que vão funcionar como indicadores.

A princípio, os indicadores são construídos a partir de informações já disponíveis ou que podem ser obtidas a um custo razoável. Por isso, inevitavelmente, segundo Moldan e Bilharz (1997), os indicadores são enviesados em dois sentidos: a disponibilidade de informações é maior em países ricos que em países em desenvolvimento e fatores relacionados a aspectos ambientais são pouco representados em relação ao total das informações coletadas rotineiramente.

Isso ocorre em grande parte das vezes, devido ao custo de coleta e processamento de informações poder se tornar uma restrição à construção e análise de indicadores. Esse fato torna ainda mais importante na análise a fase de proposição de indicadores, de forma a que sejam evitadas a procura e a pesquisa por dados desnecessários.

3.2.3- Características dos Indicadores

a) Indicadores quantitativos e qualitativos

A maior parte das definições para indicadores exclui a possibilidade de indicadores qualitativos. No entanto, apesar do fato de que uma das principais características dos indicadores é a quantificação de um atributo, Moldan e Bilharz (1997) afirmam que um indicador pode ser uma variável qualitativa (nominal), uma variável de classificação (ordinal) ou uma variável quantitativa. Em pelo menos dois casos, os indicadores qualitativos são preferíveis:

- quando a informação quantitativa não estiver disponível;
- quando o atributo de interesse for inerentemente não quantificável.

b) Necessidade de interligações entre os indicadores

Problemas complexos como os associados ao desenvolvimento sustentável ou ao planejamento de recursos hídricos requerem proposições e soluções integradas. Segundo Moldan e Bilharz (1997), há casos em que se verifica a necessidade de ir além do usual, com a construção de listas através de indicadores individuais que são estudados e analisados até formar conjuntos de indicadores integrados ou interligados.

As ligações podem existir entre variáveis dentro de um mesmo subsistema ou entre subsistemas diferentes (por exemplo entre aspectos econômicos e ambientais). O reconhecimento da existência dessas ligações realça as limitações dos procedimentos usuais, como soma ou média, para agregar diversos indicadores em um mesmo índice.

É necessário então, que na etapa de estudos para a proposição dos indicadores a serem utilizados na análise, seja construído um “modelo”, com as relações existentes entre eles. A partir desse modelo, os indicadores são relacionados com a finalidade de serem definidos conjuntos afins e assim simplificar a obtenção de dados e análise.

c) Não limitação à variação temporal

Na maioria dos casos, o maior interesse na avaliação de alternativas através da utilização de indicadores é estudar mudanças ao longo do tempo, como tendências ou condições futuras. No entanto, os indicadores usados para estes estudos podem ter outras propriedades, como a variação ao longo do espaço ou da população analisada, por exemplo. Apesar da análise das variações ao longo do tempo dever ser sempre utilizada, é importante que o tempo não seja a única variável utilizada para efeito de análise.

d) Integração do Julgamento dos analistas nos valores dos indicadores.

Segundo Moldan e Bilharz (1997), o termo “valor” adotado para um indicador pode ter dois sentidos. O primeiro refere-se ao valor relativo, utilidade ou importância daquela variável, dependendo, principalmente, do julgamento dado pelos analistas. O segundo ao estado da variável no contexto do sistema, mensurável a partir de observações, medidas, cálculos ou inferências.

O julgamento a que se refere o primeiro sentido é feito de forma subjetiva através de valores implícitos ou explícitos aos indicadores. Os valores explícitos são aqueles adotados conscientemente, compreendidos principalmente em parte da base dos indicadores criados. Os valores implícitos são baseados em fatores que não estão muito claros, uma vez que são, em sua maioria, subconscientes e relativos a características sociais ou pessoais. É difícil determinar a influência destes valores implícitos ao julgamento de um determinado conjunto de indicadores ou o possível efeito nos resultados da avaliação global. Portanto, dependendo de sua subjetividade, é possível prever a participação de valores implícitos nos valores de um determinado indicador.

Nesse sentido, é sempre importante reconhecer mais uma vez que qualquer indicador ou conjunto de indicadores é, de alguma forma, enviesado.

3.2.4- Uso dos indicadores

A principal finalidade dos indicadores é de ajudar e aperfeiçoar o processo de tomada de decisão em diferentes níveis. A utilização dos indicadores é muito importante nas diferentes etapas do ciclo de tomada de decisão. Diferentes tipos de indicadores são necessários para cada uma das diversas etapas deste ciclo, que será discutido com mais detalhes no item 3.3

Os usuários dos indicadores podem variar bastante socialmente, geograficamente ou culturalmente, dependendo da escala do empreendimento em estudo. Um dos importantes aspectos a serem considerados na construção e desenvolvimento dos indicadores é fazer com que eles sejam apropriados, aceitáveis e conclusivos aos olhos da comunidade envolvida e afetada pelo empreendimento.

Outro aspecto importante a ser lembrado é o fato de que os indicadores podem ser também meios de comunicação. Qualquer forma de comunicação requer o seu entendimento por toda comunidade envolvida no processo. Portanto, os indicadores devem ser transparentes, de forma que seus valores e significados possam ser entendidos e discutidos por todos.

Alguns autores propõem determinados requisitos básicos desejáveis que os indicadores devem seguir, quando possível, de forma que possam ser considerados práticos e úteis (Adriaanse, 1993; OECD, 1993; Tunstall, 1994). Os principais desses requisitos são listados abaixo:

- 1- Os valores dos indicadores têm de ser mensuráveis (ou pelo menos observáveis);
- 2- Os dados têm de estar disponíveis ou poderem ser obtidos por meio de medidas, cálculos, observações ou atividades de monitoramento;

- 3- A metodologia para a coleta e o processamento de dados e construção dos indicadores deve ser clara, transparente e padronizada;
- 4- Os meios para a construção e monitoramento dos indicadores devem ser disponíveis, incluindo-se aí meios financeiros, humanos e capacitação técnica;
- 5- Os indicadores ou conjuntos de indicadores devem poder ser obtidos a um custo razoável;
- 6- Os indicadores devem ser aceitáveis no nível apropriado ao estudo (local, nacional ou internacional);
- 7- A participação e o suporte pelo público na utilização dos indicadores são desejáveis.

3.3- Ciclo de Tomada de Decisão

3.3.1- Introdução

O processo de tomada de decisão é baseado principalmente, segundo Moldan (1997), em valores humanos, tradições e pontos de vista, como dados de entrada. O principal papel nesse processo é o da informação. A obtenção das informações corretas pode aumentar substancialmente a efetividade e a racionalidade do processo. A principal função dos indicadores é, nesse caso, de proporcionar ferramentas para possibilitar o melhor desempenho das diversas fases do ciclo de tomada de decisão.

O ciclo de tomada de decisão é composto de vários passos no contexto da construção e utilização dos indicadores. Moldan (1997) sugere o esquema representado na Figura 3.1, para determinar a ordem dessas etapas:

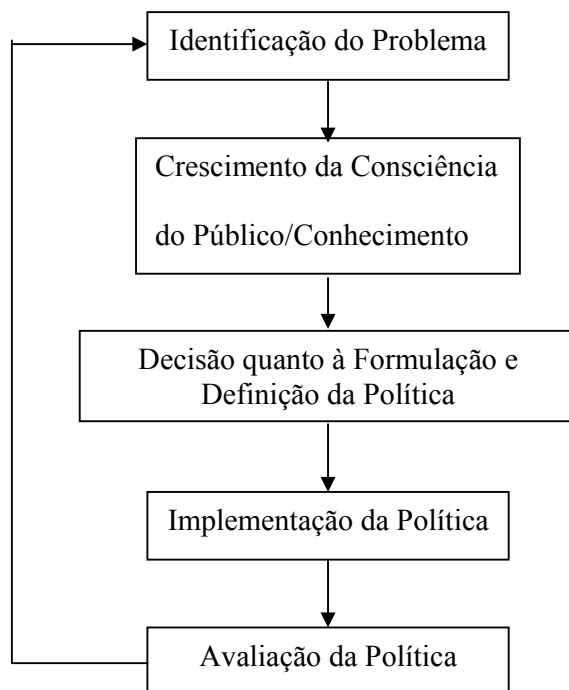


FIGURA 3.1 – Ciclo de Tomada de Decisão (adaptado de Moldan, 1997)

3.3.2- Fase de Identificação do Problema

Alguns problemas ambientais referentes ao desenvolvimento sustentável e ao planejamento de recursos hídricos parecem, hoje, bastante óbvios. Eles são agora reconhecidos como questões ou problemas a serem resolvidos. A primeira etapa do ciclo de tomada de decisão corresponde então à identificação de um determinado fenômeno como um problema. No entanto, como a maior parte dos problemas ambientais ou referentes a recursos hídricos não é diretamente observável ou entendível, a sua identificação se torna, às vezes, complexa. Vários problemas referentes a essas áreas levam anos para serem reconhecidos pela comunidade científica.

É nessa etapa que se inicia o desenvolvimento dos indicadores, ferramentas muito úteis na identificação e percepção do problema a ser resolvido.

3.3.3- Fase de Crescimento da Consciência do Público/Conhecimento do Problema

Na segunda etapa do processo, a comunidade deve ter participação essencial. A sociedade deve entender que o problema identificado é real e importante e, portanto, devem ser realizados esforços, de forma a resolvê-lo. Nesse intuito, o papel da informação é muito importante, principalmente na forma de indicadores que sejam fortes e claros, fazendo com que a comunidade possa entender melhor o problema.

Nesse momento, é importante que os indicadores não sejam apenas cientificamente válidos, mas também que estejam de forma apresentável e clara, para o melhor entendimento da população.

3.3.4- Fase de Decisão quanto à Formulação e Definição da Política

Para a formulação da política a ser adotada é necessário que sejam determinados alvos quantitativos ou pelo menos objetivos qualitativos. A definição do conjunto de indicadores a serem utilizados é parte inerente desta etapa, que trata, principalmente, de selecionar dentre as possíveis alternativas de solução para o problema a que melhor atende aos objetivos definidos. A utilização e proposição de indicadores apropriados são essenciais para que essa etapa seja realizada com sucesso.

Os problemas relacionados à área ambiental são complexos, assim como suas soluções, que compreendem a análise de diversas alternativas. Segundo Moldan (1997), para a avaliação dessas alternativas, uma série de informações deve ser analisada, grande parte das vezes com a utilização de cálculos ou modelos bastante complexos. Sendo assim, para que o resultado dessas análises seja mais bem entendido, devem ser utilizados indicadores simples e claros.

3.3.5- Fase de Implementação da Política

Os indicadores têm, ainda, um papel de suma importância na etapa de implementação da política definida anteriormente. A maior participação nesta etapa é da agência que implementará o projeto mas, deve ter a ajuda e o apoio da comunidade. O estudo,

análise e percepção do progresso alcançado, em relação aos alvos definidos, são componentes importantes dessa etapa.

Segundo Moldan (1997), esta etapa é a mais difícil e de maior duração de todo o ciclo de tomada de decisão. Ela requer bastante determinação, resistência, paciência e grande flexibilidade pois, podem ocorrer mudanças em determinadas situações ao longo do tempo que devem ser contornadas ainda nesta fase. Estas mudanças podem ser tanto em relação às expressões para os alvos quantitativos quanto em relação aos objetivos qualitativos.

3.3.6- Fase de Avaliação da Política

Para Moldan (1997), a etapa de avaliação da política adotada tem duas grandes metas. Em um primeiro momento, é necessário verificar se as medidas formuladas foram realmente adotadas e se os objetivos definidos alcançados.

No segundo momento, a questão a ser analisada é se o problema original foi resolvido e se a situação está sob controle. Para isso, deve ser então verificado se as suposições teóricas iniciais estavam corretas e os sistemas projetados realmente eficazes, sempre utilizando os indicadores como parâmetros de comparação.

Passando por essa etapa, o ciclo de tomada de decisão está completo. Se os resultados forem satisfatórios, o trabalho foi bem feito. No entanto, caso contrário, inicia-se novamente o ciclo, com a identificação do novo problema e tem seu prosseguimento seguindo as outras etapas.

3.4- Metodologias para a Avaliação de Alternativas

3.4.1- Introdução

O termo avaliação pode ser definido, segundo Lichfield *et al.* (1975), como o processo de análise de um determinado número de planos ou projetos, com a finalidade de definir suas vantagens e desvantagens, colocando-as de uma forma que possam ser comparados. Avaliação não pode ser confundida com tomada de decisão, significa sim, um processo que deve dar as principais ferramentas e fornecer informações que vão ajudar na ação de tomada de decisão.

A análise de alternativas de projeto deve ser muito mais que apenas a comparação de critérios técnicos ou econômicos. Questões políticas, sociais e ambientais, além de outras que forem relevantes ao processo, devem ser consideradas, de forma a torna-la mais abrangente e consistente.

A avaliação deve ser desenvolvida a partir de conjuntos de valores calculados para os diversos aspectos a serem comparados dentre as possíveis alternativas de projeto. Estes aspectos, vão depender do objetivo principal da obra e da formação dos participantes e decisores presentes no processo.

No caso da avaliação de empreendimentos privados, por exemplo, cujo objetivo principal é uma boa alternativa de investimento, devem ser considerados principalmente, segundo Harada e Cordeiro Netto (1999), critérios econômicos e financeiros. A alternativa a ser escolhida deverá ser, dentre as que atingirem os critérios técnicos de projeto, a que obtiver maior rentabilidade, além de melhor se adaptar à conjuntura vivida pelo investidor.

Para empreendimentos governamentais, cuja maior importância deve ser dada aos aspectos sociais, o processo de avaliação se mostra mais complexo. Nestes casos, ainda segundo Harada e Cordeiro Netto (1999), a rentabilidade torna-se apenas um benefício, dentre outros importantes a serem obtidos com o investimento, como sua distribuição na sociedade e os impactos sociais e ambientais gerados.

Segundo Ortolano (1997), apesar de existirem centenas de métodos para a avaliação de alternativas, não há uma concordância entre os especialistas sobre quais seriam os mais adequados para cada caso. Estes métodos variam bastante, desde aqueles em que a comparação é feita a partir de apenas um critério, até os mais robustos, em que os diversos critérios a serem avaliados não podem ser mensurados na mesma unidade, exigindo análises mais complexas. Este é o caso das análises multicritério, em que os aspectos relevantes na comparação das alternativas são avaliados em unidades não monetárias, sendo na maioria das vezes incomensuráveis e dependendo de avaliações subjetivas.

3.4.2- Análise de critério único

A estrutura desse tipo de análise é definida por Harada e Cordeiro Netto (1999), baseando-se no princípio da agregação dos diferentes efeitos analisados e a consideração dos ganhos em um único critério. Isto significa a busca do maior valor ou do valor mais próximo a um máximo desejado para uma função $z(x)$. Esta função é o principal parâmetro utilizado para a comparação entre as alternativas.

Segundo esse modelo, $z(x) > z(y)$ significa que a alternativa x é preferível à y . Ele leva em conta ainda, o princípio da transitividade, o que significa dizer que, se $z(x) > z(y)$ e $z(y) > z(w)$, então, $z(x) > z(w)$. A igualdade ou a inexistência de preferência entre alternativas só é admitida, quando tiver valores iguais para suas avaliações, ou seja, $z(x) = z(y)$.

Os principais tipos de avaliação de alternativas, a partir da análise de um critério único, são definidos a seguir (adaptado de Harada e Cordeiro Netto, 1999 e Ortolano, 1997).

a) Análise custo-efetividade

Neste tipo de análise, são avaliados os custos para a realização das alternativas que atingirem os objetivos definidos para o empreendimento. Seleccionadas as alternativas que atenderem a estes objetivos, a melhor opção é a que puder ser realizada com o menor custo. Isto significa obter o menor valor no único critério avaliado, nesse caso, o critério financeiro.

A principal vantagem desse tipo de análise é a simplicidade de sua estrutura, devido ao fato de não serem necessários muitos cálculos ou comparações. No entanto, como principal desvantagem, tem-se o fato de não serem considerados outros critérios como os ambientais e sociais. Além disso, nem todos os custos diretos e indiretos são considerados no cálculo, perdendo-se abrangência na análise.

b) Análise custo-benefício

O objetivo principal desse tipo de avaliação é a comparação de vantagens e desvantagens no aspecto econômico, entre as diversas alternativas possíveis, de forma a obter subsídio para a escolha da que apresente melhor relação entre custos e benefícios gerados.

Para possibilitar esta comparação, os efeitos a serem causados pelas diversas alternativas de projeto são calculados financeiramente, transformando todos os custos e benefícios em moeda. Os benefícios são calculados a partir das receitas ou economias advindas da implementação do empreendimento, podendo ser considerados, inclusive, benefícios ambientais e sociais, do ponto de vista da coletividade. Para o cálculo dos custos, são incluídos todos os gastos diretos e indiretos referentes ao investimento e manutenção da obra.

A avaliação destes benefícios e custos é feita a partir de preços de mercado ou pesquisas que possam ajudar a mensurar a disposição dos consumidores a pagar por determinado produto. No entanto, há circunstâncias em que o cálculo por meio de preços de mercado não reflete a real avaliação dos efeitos da obra. Nestes casos, os economistas sugerem que sejam utilizados os chamados “preços sombra”. Segundo Mishan (1975), “preço sombra” é aquele que um economista atribui a um produto com o argumento de que é mais apropriado que o preço real, no intuito do cálculo econômico em questão. O economista então “corrige” um preço existente ou atribui valor a perdas ou ganhos não calculados.

Depois de calculados os valores referentes aos custos e benefícios, as alternativas de projeto podem então ser comparadas, a partir de alguma relação entre custos e benefícios, podendo ser citadas como exemplo:

- A diferença entre o valor dos benefícios e o dos custos. Neste caso, a melhor alternativa é a que obtiver o maior valor para esta diferença;
- A razão entre benefícios e custos. Quanto maior o valor encontrado para esta razão, melhor pode ser considerada a alternativa.

A principal vantagem desse tipo de análise é a mais fácil compreensão dos resultados por todos os participantes do processo, uma vez que todos os benefícios e custos referentes a todas as alternativas de projeto estarão expressos monetariamente.

Como desvantagem, pode ser citada a necessidade de um grande número de informações e a tendência de serem negligenciadas conseqüências cujos efeitos não podem ser quantificados.

c) Análise risco-benefício

Para os dois outros tipos de análises descritos nos itens anteriores, os efeitos causados pelas diversas alternativas de projeto eram tidos como certos, ou seja, ocorreriam como previsto. No entanto, sabe-se que quaisquer previsões, principalmente no que tange a impactos ambientais ou ao ciclo hidrológico, são acompanhadas por um determinado risco.

Este tipo de análise tem o princípio de considerar riscos aceitáveis, além de medidas necessárias para a remediação de suas conseqüências, comparando-as aos benefícios propostos por cada alternativa de projeto.

A principal vantagem deste tipo de análise é o fato de prever e aceitar o risco existente na implementação de qualquer alternativa de projeto. Como desvantagem, observa-se que a estimativa dos riscos é difícil de ser mensurada, o que torna a análise bastante subjetiva.

3.4.3- Análises multicritério

As avaliações de alternativas de projeto não devem ser forçosamente efetuadas a partir do atendimento a apenas um critério. Em alguns casos, é importante que sejam considerados ao mesmo tempo aspectos econômicos, sociais, ambientais, políticos bem como quaisquer outros que se mostrarem relevantes à comparação de um determinado conjunto de alternativas. Intervêm também, freqüentemente, múltiplos decisores, às vezes com conflitos de interesses e diferentes pontos de vista. Para a realização de uma análise global, são necessários métodos baseados na otimização do resultado de um grupo de funções.

Nesse tipo de análise, segundo Braga Junior e Gobetti (1997), é verificada uma nova nuance para o conceito de otimização, uma vez que não existe apenas um único ótimo em um problema com o atendimento a múltiplos critérios. Há sempre um conjunto ótimo de soluções, atendendo de formas diferentes aos critérios envolvidos na análise. Este conjunto é chamado de conjunto Pareto ótimo, no qual, só é possível a melhora em relação a um critério, com a piora em relação a outro. Apresenta-se, nesse momento, o conceito de “dominância”. As soluções dominantes, são aquelas pertencentes ao conjunto Pareto ótimo, em que não se pode melhorar a avaliação para a maioria dos critérios, sem que pelo menos um seja piorado. Para o caso das soluções dominadas há ainda soluções em que a avaliação de todos os critérios pode ser melhorada.

Nesse tipo de análise, há a necessidade da implementação de novos conceitos como indiferença e incomparabilidade das ações em relação a determinados critérios.

Segundo Harada e Cordeiro Netto (1999), a grande vantagem desses métodos, denominados “multicritério”, é poder quantificar e avaliar diversos critérios que não o seriam nas análises de critério único. Com isso, podem ser mais bem percebidas e comparadas as particularidades de cada alternativa de projeto proposta.

No entanto, há a desvantagem de necessitar de um grande número de informações para a avaliação de cada alternativa. Além disso, os decisores e a escolha dos critérios a serem avaliados têm bastante relevância no processo, tornando a análise às vezes muito subjetiva.

Devido ao grande número de métodos de análise multicritério e de suas variadas características, é difícil haver um consenso no meio científico em relação a uma forma de classificação desses métodos.

Harada e Cordeiro Netto (1999) seguem a classificação proposta por Vincke (1989) e adotada pelo SMG – *Service de Mathématiques de La Gestion* (Paris, França) – dita como uma das mais simples e com maior aceitação. Nesta classificação, os métodos existentes são divididos em três grandes famílias: métodos baseados na teoria de utilidade-multiatributo; métodos seletivos e métodos interativos.

Outra forma de classificação com grande difusão no meio científico é a de Cohon e Marks (1975) *apud* Gobetti (1993), tendo caracterização semelhante à anterior, sendo entretanto, mais detalhada em sua nomenclatura: técnicas que geram um conjunto de soluções não-dominadas; técnicas que utilizam uma articulação antecipada de preferências e técnicas que utilizam uma articulação progressiva de preferências. Nos itens seguintes, esses grupos de métodos ou famílias são definidos.

a) Métodos baseados na teoria de utilidade-multiatributo

Segundo Harada (1999), a principal característica dessa família, de utilização difundida na América do Norte, é a agregação de diferentes atributos dentro de uma única função. Com isso, o objetivo principal da análise das alternativas torna-se a otimização dessa função.

A síntese dos diversos atributos, agregando-os em um único valor, formará esta função. Para os múltiplos objetivos devem ser determinadas as funções de utilidade de cada atributo, combinadas à finalidade de formar uma única função utilidade-multiatributo.

Os principais métodos desta família são:

- Método dos Pesos;
- Método das Restrições;
- Método Multiobjetivo linear.

Outro método também bastante utilizado, a Programação de Compromisso (Compromise Programming), é classificado por Harada (1999) nesse grupo. Apesar de possuir pontos em comum com métodos de outros grupos, sua principal característica é a de buscar a otimização da função “distância da solução ideal”, o que faz com que possa ser classificado dentro das características dessa família.

b) Métodos seletivos

Esta família, de maior utilização na Europa, tem como principal característica o estabelecimento de comparações entre alternativas, duas a duas, com a construção de uma relação que acompanhará as preferências dos decisores. Essa relação é chamada de relação de seleção.

A partir dessa relação entre cada duas alternativas, é possível verificar se há argumentos para decidir se uma é melhor que a outra. Nesse momento são incorporados os conceitos de indiferença e incomparabilidade de ações, referindo à preferência entre elas. Isso faz com que, em alguns casos, não seja possível realizar a ordenação completa de preferência das alternativas.

Os principais métodos dessa família são os métodos da família ELECTRE (*ELimination Et Choix Traduisant REalité*) e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*).

c) Métodos interativos

Esses métodos, também denominados de articulação progressiva de preferências, partem do princípio segundo o qual o sistema de preferências é discutido ao longo de todo processo decisório. Ao contrário das outras famílias, o decisor não tem estabelecido a priori o seu sistema de preferências. Ao longo do processo decisório, à medida que o problema é mais bem entendido, são obtidas novas informações incorporadas à análise.

Os principais métodos com essas características são: o método do valor substituto de troca e o método dos passos.

3.5- Conclusões

Para a tomada de uma decisão é importante que sejam seguidas algumas etapas, definidas nesse capítulo como ciclo de tomada de decisão. É de grande relevância seguir essas etapas, de forma que o processo seja coerente e tenha sucesso. O presente trabalho está inserido nesse ciclo na etapa em que é tomada a decisão quanto à formulação e definição da política a ser adotada para a resolução de um problema. No presente trabalho, o problema já está identificado como sendo a necessidade de um eficiente sistema de drenagem para determinada área.

Para a avaliação de sistemas de drenagem, foi percebida, então, a necessidade da utilização de indicadores, por se tratarem de ferramentas utilizadas com frequência e de grande utilidade na avaliação e comparação de alternativas de projeto. Os indicadores são variáveis que devem ser apropriadamente escolhidas e mensuradas de forma a caracterizarem de forma concisa e correta as ações a serem avaliadas. Portanto, torna-se bastante importante a etapa de proposição dos indicadores a serem utilizados. No próximo capítulo, serão demonstrados e definidos os indicadores propostos pelo presente trabalho para a avaliação de sistemas de drenagem urbana.

Para a comparação das diversas alternativas possíveis de projeto, deve ser adotada uma metodologia, dentre as muitas existentes e já definidas nesse capítulo. Nesse trabalho, serão comparadas diversas alternativas de sistemas de drenagem com arranjos diferentes. Para isso, deverá ser utilizada uma metodologia que tenha a capacidade de agregar os valores dos indicadores para cada alternativa, com a finalidade de poder dar subsídios para a escolha da melhor, dentre elas. Por se tratar de um trabalho complexo, e com a agregação de vários indicadores, a comparação deverá ser realizada por meio da adaptação de uma metodologia de análise multicritério, dentre as diversas existentes. O trabalho de escolha e utilização dessa metodologia será demonstrado no capítulo 5.

4- PROPOSIÇÃO DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

4.1- Introdução

Neste capítulo, são propostos os indicadores de performance para a avaliação de sistemas de drenagem urbana. Foram definidos, em um primeiro momento, os principais critérios a serem avaliados e comparados nas diferentes alternativas de projeto. A definição destes critérios foi realizada a partir de estudos e consulta à bibliografia existente referente aos domínios da hidrologia urbana e às técnicas clássicas e alternativas de drenagem urbana. Os critérios propostos foram o objetivo, os impactos da obra e sua inserção.

A partir desse momento, tornou-se necessário definir, para os critérios determinados anteriormente, quais seriam os indicadores pertinentes à avaliação proposta. Esses indicadores devem englobar os parâmetros possíveis de comparação entre as diversas técnicas de drenagem urbana. Eles devem ser simples para que todos os participantes do processo decisório possam compreender seu significado e, ao mesmo tempo, coerentes e pertinentes de forma a fazer com que todos os aspectos relevantes sejam avaliados.

Além disso, seus valores devem poder ser obtidos por meio de cálculos, medições, observações, ou estudos do comportamento da implantação das estruturas de drenagem a serem propostas pelas diversas alternativas de projeto.

Sendo assim, para o desenvolvimento dos indicadores, foi estudada a possibilidade da definição de expressões de cálculo para todos, de forma que sua determinação fosse mais clara e consistente. No entanto, nem todos os aspectos analisados foram de caráter quantitativo. Alguns indicadores tiveram suas avaliações realizadas de forma subjetiva com a participação do decisor por meio de sua experiência.

No caso dos indicadores de análise por meio de cálculos, com as expressões propostas, seus valores estarão sempre contidos dentro do intervalo de $-1,0$ a $1,0$. Nesse caso, os valores inferiores a zero significam impactos negativos e os valores superiores a zero, impactos positivos. O valor nulo para estes indicadores significa que o projeto não causa impacto em relação àquele aspecto avaliado.

Para os indicadores propostos de avaliação subjetiva, a escala de avaliação a ser utilizada tem 7 níveis, sendo eles, em ordem crescente:

- Grande Piora - GP;
- Sensível Piora - SP;
- Pequena Piora - PP;
- Indiferente - I;
- Pequena Melhora - PM;
- Sensível Melhora - SM;
- Grande Melhora - GM.

De acordo com o estudo realizado e com as principais características relevantes ao desempenho das funções dos indicadores, a proposição desse trabalho é a que se segue:

Critério “Objetivo”

- Indicador de atendimento ao objetivo.

Critério “Impactos da Obra”

- Impactos Hidrológicos
 - Indicador de impacto sobre as vazões de jusante;
 - Indicador de recarga do aquífero.
- Impactos Sanitários
 - Indicador de possibilidade de transmissão de doenças;
 - Indicador de possibilidade de proliferação de insetos.
- Impactos na qualidade das águas
 - Indicador de impacto nas águas superficiais;
 - Indicador de impacto nas águas subterrâneas.

Critério “Inserção da Obra”

- Inserção Ambiental
 - Indicador de criação e preservação de habitats;
 - Indicador de impacto paisagístico.
- Inserção Social
 - Indicador de criação de áreas de recreação, lazer e equipamentos urbanos;
 - Indicador de impacto nas condições de circulação;
 - Indicador de possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas;
 - Indicador de desapropriação de áreas.

Posteriormente à definição dos indicadores propostos, foi relevante a determinação da importância de cada um deles dentro da análise global. Sendo assim, definiram-se quatro grupos de decisores atuantes na área de drenagem urbana para serem consultados em relação aos indicadores propostos. Para cada um desses grupos, foram escolhidos especialistas, em função de sua experiência e cada um deles pôde participar do trabalho com comentários e análise de importância segundo os seus conceitos. Nos itens 4.5 e 4.6, o processo de análise de importância será mais bem detalhado.

4.2- Critério “Objetivo”

Para a avaliação deste critério, propõe-se o indicador de atendimento ao objetivo principal, para o qual a obra está sendo projetada, definido como a drenagem e o controle de inundações de uma dada área. A forma de cálculo deste indicador é por meio da relação entre o tempo de retorno previsto no projeto em questão e o tempo de retorno desejável para a obra definida:

$$\text{Se } T_R \geq T_{RD} \Rightarrow I_o = 1,0$$

$$\text{Se } T_R < T_{RD} \Rightarrow I_o = \frac{T_R}{T_{RD}}; \quad (4.1)$$

Em que:

- T_R = Tempo de retorno de projeto;
- T_{RD} = Tempo de retorno desejável.

Nesse caso, o valor desse indicador deverá ser sempre positivo, variando de 0 a 1, uma vez que o projeto de um sistema de drenagem tem sempre a finalidade de melhorar a situação da área. Um valor negativo para este indicador significaria uma situação oposta ao que se pretende desenvolver, ou seja, um prejuízo para a área.

4.3- Critério “Impactos da Obra”

O critério referente aos impactos da obra foi dividido em três aspectos a serem avaliados: hidrológicos, sanitários e referentes à qualidade das águas. Serão desenvolvidos indicadores referentes a cada um destes, sendo aqueles referentes aos hidrológicos chamados de I_H , os sanitários, I_S , e os referentes à qualidade das águas, I_Q . Posteriormente, a partir da relação entre eles poderá ser quantificado o indicador referente aos impactos da obra.

4.3.1 – Hidrológicos

Os impactos hidrológicos a serem avaliados concernem às vazões a jusante do sistema de drenagem a ser projetado e à recarga do lençol freático.

a) Impacto sobre as vazões a jusante

Este indicador terá a finalidade de avaliar os impactos do sistema de drenagem proposto em relação à vazão desejável de ser mantida a jusante. Esta vazão, denominada “vazão alvo”, será comparada às vazões escoadas a jusante por cada uma das alternativas de projeto propostas, de forma a verificar o atendimento a um determinado valor pressuposto. Este valor poderá ser uma vazão mínima para manter alguma captação existente e/ou máxima que poderia acarretar inundação da área a jusante.

O indicador proposto para avaliar esse critério é o seguinte:

a.1) Caso a vazão alvo a ser mantida a jusante seja superior a um dado valor mínimo, ou seja, deseja-se resguardar uma vazão mínima a jusante

$$\begin{aligned} \text{Se } Q_{jus} \geq Q_{alvo} &\Rightarrow I_{H1} = 1,0 \\ \text{Se } Q_{jus} < Q_{alvo} &\Rightarrow I_{H1} = \frac{Q_{jus}}{Q_{alvo}}; \end{aligned} \quad (4.2)$$

Em que:

- Q_{jus} = Vazão mínima a escoar a jusante segundo a alternativa estudada;
- Q_{alvo} = Vazão alvo a ser mantida a jusante.

O valor desse indicador estará sempre compreendido no intervalo [0;1], prevendo-se sempre resultados positivos da alternativa proposta em relação a este aspecto.

a.2) Caso a vazão alvo a ser mantida a jusante seja limitada a um valor máximo,

$$\text{Se } Q_{\text{jus}} \leq Q_{\text{alvo}} \Rightarrow I_{H1} = 1,0$$

$$\text{Se } Q_{\text{jus}} > Q_{\text{alvo}} \Rightarrow I_{H1} = \frac{Q_{\text{alvo}}}{Q_{\text{jus}}} \quad (4.3)$$

Em que:

- Q_{jus} = Vazão máxima a escoar a jusante segundo a alternativa estudada;
- Q_{alvo} = Vazão alvo a ser mantida a jusante.

O valor desse indicador estará sempre compreendido no intervalo [0;1], prevendo-se sempre resultados positivos da alternativa proposta em relação a este aspecto.

a.3) Se a vazão alvo a ser mantida a jusante tiver um limite mínimo e máximo, a avaliação referente às vazões a jusante deverá ser feita a partir da média entre os indicadores dos itens A e B, mantendo-se no mesmo intervalo [0;1].

b) Recarga do aquífero

Segundo Barraud *et al.* (2001), para que uma obra de drenagem possa contribuir para a recarga de um aquífero, o volume total infiltrado sobre a área considerada deverá ser superior ao volume infiltrado caso a área estivesse inteiramente “natural”, ou seja, não urbanizada. Na análise em questão, foi arbitrado que o sistema que propusesse a infiltração de vazão igual ou superior a duas vezes a vazão natural, teria pontuação máxima na avaliação. Com esse intuito, o indicador proposto para avaliar a recarga do aquífero é:

$$\text{Se } Q_{\text{inf}} \geq 2 \cdot Q_{\text{nat}} \Rightarrow I_{H2} = 1,0$$

$$\text{Se } Q_{\text{inf}} < 2 \cdot Q_{\text{nat}} \Rightarrow I_{H2} = \frac{Q_{\text{inf}} - Q_{\text{nat}}}{Q_{\text{nat}}} \quad (4.4)$$

Em que:

- Q_{inf} = Vazão infiltrada segundo a alternativa estudada;
- Q_{nat} = Vazão infiltrada caso a área não estivesse urbanizada.

O valor desse indicador estará sempre compreendido no intervalo [-1;1], podendo ocorrer impactos positivos ou negativos da obra proposta em relação a este aspecto.

O cálculo deste indicador pode ser simplificado, em situações em que as áreas de infiltração forem homogêneas e as cargas hidráulicas forem iguais. Nestes casos, o cálculo do indicador pode ser feito através das áreas de infiltração, ao invés das vazões infiltradas, com a seguinte expressão:

$$\text{Se } A_{\text{inf}} \geq 2 \cdot A_{\text{nat}} \Rightarrow I_{H2} = 1,0$$

$$\text{Se } A_{\text{inf}} < 2 \cdot A_{\text{nat}} \Rightarrow I_{H2} = \frac{A_{\text{inf}} - A_{\text{nat}}}{A_{\text{nat}}} \quad (4.5)$$

Em que:

- A_{inf} = Área de infiltração segundo a alternativa estudada;
- A_{nat} = Área de infiltração caso a área não estivesse urbanizada.

4.3.2- Sanitários

a) Possibilidade de transmissão de doenças

Segundo Batista (2000), a ocorrência de inundações devido às grandes chuvas, o empoçamento de águas pluviais, o carreamento de lixo pelo sistema de drenagem, além da poluição das águas pluviais pelo lançamento de esgotos, são fatores potenciais para a disseminação de doenças em áreas onde o sistema de drenagem é inexistente ou ineficaz.

Outro aspecto importante de ser considerado é a existência de epidemias de veiculação hídrica na área do empreendimento em questão. Caso já haja uma tendência à existência destas epidemias, o impacto da adoção de determinada alternativa pode ser bastante negativo.

Além disso, Batista (2000) alerta que a proximidade e o contato das pessoas com as águas pluviais desse sistema pode também contribuir para a transmissão de doenças. A distância de 150m das margens de qualquer curso de água é determinada, ainda, por Batista (2000), como sendo suficiente para reduzir bastante os riscos de transmissão de doenças.

Com isso, a avaliação proposta para este indicador (I_{S1}) é de forma subjetiva, devendo ser realizada pelo decisor de acordo com a influência de cada alternativa de projeto para o sistema de drenagem a ser adotado em relação aos efeitos acima enumerados. Sua avaliação, sendo subjetiva, variará, segundo os níveis informados anteriormente, de uma grande piora, aumentando bastante a possibilidade de transmissão de doenças, até uma grande melhora, significando que a obra proposta proporcionará uma grande redução na possibilidade de transmissão de doenças.

b) Possibilidade da proliferação de insetos

Para avaliar esse indicador (I_{S2}), o primeiro fator a ser considerado é a existência de insetos vetores de doenças presentes na área do empreendimento em questão. A implementação do sistema de drenagem pode ter um grande impacto negativo, caso já haja na área uma tendência à ocorrência e proliferação de insetos.

Por outro lado, a existência de coleta de lixo e a presença de interceptores de esgotos, fazendo com que as águas pluviais não sejam contaminadas, podem influenciar positivamente em relação a este aspecto.

Em relação a aspectos negativos, é importante avaliar a possibilidade de contato de águas pluviais contaminadas com o ambiente atmosférico ou de formação de poças d'água. Esses aspectos acarretariam um maior contato de insetos com a água e, conseqüentemente, o aumento da tendência de sua proliferação.

Assim como para o item anterior, a avaliação desse aspecto deverá ser feita pelo decisor, de forma subjetiva, a partir de análise dos principais fatores intervenientes,

variando na escala proposta de uma grande piora a uma grande melhora, segundo o aumento ou redução na tendência à proliferação de insetos, segundo a alternativa analisada.

4.3.3- Qualidade das águas

A avaliação dos impactos da obra em relação à qualidade das águas será por meio de dois indicadores, sendo o primeiro referente às águas superficiais e o segundo referente às águas subterrâneas.

a) Impacto nas águas superficiais

Para a avaliação desse critério, com o indicador I_{Q1} , devem ser observados na área de drenagem, em um primeiro momento, quaisquer fatores causadores de poluição às águas a serem escoadas.

Os principais fatores negativos a serem considerados podem ser a presença de ligações de esgotos e lixo despejado nas ruas, ou a existência de empreendimentos produtores de poluentes na área de drenagem. Um efeito negativo que pode ser ainda citado é o tráfego de cargas perigosas na área do empreendimento, levando ao aumento do risco de contaminação das águas pluviais.

Como efeito positivo, deve ser avaliada a previsão de implantação de estruturas de tratamento como filtros, decantadores ou mesmo a utilização de alguma técnica com dispositivos de retenção das águas.

A avaliação do impacto será feita pelo decisor, a partir do conhecimento das alternativas de projeto e de sua experiência e sensibilidade frente aos impactos a serem causados pela estrutura de drenagem na qualidade das águas superficiais. O indicador variará conforme a escala subjetiva proposta, de uma grande piora a uma grande melhora, devido à proposição de cada alternativa de projeto.

b) Impacto nas águas subterrâneas

No aspecto concernente ao impacto na qualidade das águas infiltradas de forma a proporcionar a recarga do aquífero, assim como para as águas superficiais, devem ser observados quaisquer fatores existentes na área de drenagem que possam causar poluição ou melhorar a qualidade da água.

A presença de ligações de esgotos, despejos de resíduos sólidos e/ou de empreendimentos produtores de poluentes pode impactar negativamente as águas a ser infiltradas. De forma contrária, estruturas de depuração previstas na alternativa de projeto antes que as águas sejam infiltradas podem levar à melhoria na qualidade destas águas.

Além disso, estes fatores devem ser relacionados pelo decisor ao nível mais alto do lençol subterrâneo, de forma a verificar o real impacto no lençol, após a infiltração no solo por uma determinada profundidade mínima. Azzout *et al.* (1994) sugerem a

distância de 1,0m entre o nível mais alto do lençol e a base da superfície de infiltração sendo capaz de reter grande parte da poluição das águas infiltradas.

Conforme o impacto referente à qualidade das águas superficiais, o impacto em questão deverá ser avaliado pelo decisor observando a presença de quaisquer fatores causadores de poluição ou de depuração das águas pluviais, que neste caso serão infiltradas. Sua escala de avaliação, conforme a escala subjetiva proposta, variará de uma grande piora a uma grande melhora, de acordo com a previsão de grande contaminação ou depuração das águas do aquífero, devido à infiltração das águas pluviais.

4.4- Critério “Inserção da Obra”

Para a avaliação desse critério, serão analisados os aspectos referentes à inserção ambiental (I_A) e social (I_{SC}) de cada alternativa de projeto de sistema de drenagem.

4.4.1 – Ambiental

No que tange ao aspecto referente à inserção ambiental das diversas alternativas de projeto de sistemas de drenagem, foram propostos dois indicadores a serem avaliados. Estes indicadores se referem à criação e preservação de habitats e ao impacto paisagístico produzido pelo sistema de drenagem projetado.

a) Criação e preservação de habitats

Segundo Ortolano (1997), um ecossistema pode ser definido como uma comunidade biótica e seu ambiente abiótico. Ele deve ser considerado como a unidade básica utilizada ao avaliar impactos biológicos devido a algum projeto a ser empreendido. Qualquer modificação em uma parte da área alterará o seu ecossistema. Dentro deste pensamento, a preservação de áreas é um aspecto importante de ser considerado no tocante à inserção ambiental. Quanto maiores forem as áreas impactadas devido à obra e à ocupação do sistema da drenagem maior será o impacto em relação a este critério.

Além disso, devem ser também consideradas as áreas ecologicamente aptas ou favoráveis à revitalização, criadas a partir da implantação de um determinado sistema de drenagem. Este aspecto é importante de ser considerado, uma vez que estas novas áreas, que serão a partir de então de preservação, deverão abrigar ecossistemas com uma diversidade compatível com as condições naturais do meio.

Para a avaliação deste critério, o indicador proposto considera a relação entre a área ecologicamente apta antes de ser feita a intervenção para a obra de drenagem e a área ecologicamente apta após a intervenção. Foi arbitrado que, caso o sistema proposto tivesse área ecologicamente apta igual ou superior a duas vezes à anterior à obra, sua pontuação na análise seria máxima. Sendo assim, o indicador proposto é:

$$\begin{aligned} \text{Se } A_{apta2} \geq 2 \cdot A_{apta1} &\Rightarrow I_{A1} = 1,0 \\ \text{Se } A_{apta2} < 2 \cdot A_{apta1} &\Rightarrow I_{A1} = \frac{A_{apta2} - A_{apta1}}{A_{apta1}} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Em que:

A_{apta1} = Área ecologicamente apta antes da implementação do sistema de drenagem;

A_{apta2} = Área ecologicamente apta após a implantação do sistema de drenagem proposto.

Este indicador terá seu valor compreendido dentro do intervalo [-1;1]. O maior valor para este indicador ocorrerá quando a área ecologicamente apta após a implantação do sistema de drenagem for igual ou superior a duas vezes a área ecologicamente apta antes. O menor valor para este indicador ocorrerá quando a área ecologicamente apta após a implantação do sistema de drenagem for reduzida a zero.

b) Impacto paisagístico

A avaliação desse critério trata de verificar se o cenário proposto para cada alternativa de projeto está ou não de acordo com o desejo ou as características urbanas determinadas pelo plano diretor de uso e ocupação do solo.

Para avaliar este critério, deve-se analisar os princípios existentes para a organização e as tendências urbanísticas da região do empreendimento, verificando o atendimento de cada alternativa de projeto.

Esse critério é muito difícil de ser quantificado por meio de expressões matemáticas, devendo ser avaliado pelo decisor, por comparações entre os diversos cenários propostos. A análise das diversas alternativas de projeto em relação ao impacto paisagístico será feita de forma subjetiva pelo decisor, sendo que o valor do indicador I_{A2} deve estar sempre contido no intervalo da escala proposta de avaliação, variando de uma grande piora à grande melhora, que significaria a adequação completa da alternativa estudada aos planos diretores e leis de uso e ocupação do solo para a área do empreendimento.

4.4.2 – Social

Em relação ao aspecto referente à inserção social do sistema de drenagem, serão avaliados indicadores relativos à criação de áreas de recreação, lazer e novos equipamentos urbanos, impactos nas condições de circulação do sistema, à possibilidade do desempenho de outras funções técnicas e os efeitos da desapropriação de áreas.

a) Criação de áreas de recreação e lazer e equipamentos urbanos

Além de seus objetivos principais, de drenagem e de controle de inundações, uma obra de drenagem urbana pode ainda impactar o tecido urbano, com a criação ou a redução das áreas de recreação, lazer e equipamentos urbanos. Este impacto pode ser traduzido a partir da relação entre as áreas referentes à recreação e lazer antes e depois da implantação do sistema de drenagem. Na presente análise arbitrou-se que para as alternativas de projeto cuja área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos

fossem iguais ou superiores a duas vezes a área inicial, a avaliação do indicador deveria ser máxima. Sendo assim, a expressão proposta para avaliar este indicador é a seguinte.

$$\begin{aligned} \text{Se } A_{RL2} \geq 2 \cdot A_{RL1} &\Rightarrow I_{SC1} = 1,0 \\ \text{Se } A_{RL2} < 2 \cdot A_{RL1} &\Rightarrow I_{SC1} = \frac{A_{RL2} - A_{RL1}}{A_{RL1}} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Em que:

A_{RL1} = Área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, antes da implementação do sistema de drenagem;

A_{RL2} = Área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, após a implementação do sistema de drenagem proposto.

O valor deste indicador estará sempre compreendido na escala [-1;1]. Quando a área referente à recreação e lazer após a implantação do sistema de drenagem for igual ou superior a duas vezes a área anterior, o valor deste indicador terá seu maior valor. Quando a área A_{RL2} for igual à área A_{RL1} , o valor do indicador será nulo, e este terá seu menor valor, nos casos em que a área referente à recreação e lazer for reduzida a zero.

Nos casos em que a área A_{RL1} for igual a zero, ou seja, a área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos antes da implantação do sistema de drenagem for nula, os impactos serão sempre positivos, variando na escala de 0 a 1. Propõe-se nestes casos, que a avaliação tome como base, a alternativa em que a área total criada para recreação e lazer tenha seu maior valor. Esta será considerada a de maior impacto positivo. O impacto das outras alternativas será a partir da relação entre estas áreas criadas, segundo a expressão:

$$I_{SC1} = \frac{A_{RL}}{A_{\max RL}} \quad (4.8)$$

Em que:

A_{RL} = Área criada referente à recreação e lazer e equipamentos urbanos, associada à alternativa de projeto de sistema de drenagem;

$A_{\max RL}$ = Maior área, dentre as diversas alternativas, referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos, associada à alternativa de projeto de sistema de drenagem.

b) Impacto nas condições de circulação

A utilização de diferentes técnicas de drenagem urbana pode causar um impacto benéfico ou prejudicial às condições de circulação de veículos e pessoas. Este impacto é difícil de ser quantificado por meio de expressões matemáticas, por depender de diversos fatores que não podem ser inter-relacionados diretamente.

Os principais fatores benéficos às condições de circulação são: a redução do efeito de aquaplanagem, dos níveis sonoros e a melhoria da aderência dos pneus à superfície do pavimento durante eventos de chuva, devido à implantação de estruturas como pavimentos porosos, além da criação ou expansão de vias de circulação de veículos, passeios para pedestres e estacionamento.

Como principal fator prejudicial à circulação, pode ser citada a redução das vias de circulação de veículos ou de pedestres, com a previsão de travessias como passarelas. Isso pode ocorrer devido à utilização de determinadas técnicas alternativas de drenagem que, para sua implementação, necessitarão da ocupação de maiores áreas. Essa redução pode ser ou não prejudicial, dependendo dos tipos de tráfego existentes na área do empreendimento em questão. Os principais tipos de tráfego existentes são:

- Tráfego reduzido – Ruas secundárias;
- Tráfego médio – Rua principal ou arterial;
- Tráfego intenso – Avenida ou via expressa.

A avaliação deste indicador, I_{SC2} , será de forma subjetiva, variando de acordo com o entendimento e análise do decisor, utilizando sua experiência em obras desse tipo. A escala de avaliação variará de uma grande piora a uma grande melhora, das condições de circulação na área, devido à técnica escolhida para drenagem da área do empreendimento.

c) Possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas

Determinadas técnicas utilizadas em sistemas de drenagem podem desempenhar outras funções técnicas importantes. Ao identificar as técnicas propostas para cada alternativa de projeto é possível determinar outras funções, além daquelas inicialmente previstas. O Quadro 4.1, adaptado de Azzout, (1996), apresenta algumas outras funções possíveis de serem associadas às diferentes técnicas.

QUADRO 4.1 – Funções técnicas possíveis de serem associadas às diferentes técnicas de drenagem, adaptado de Azzout, (1996).

Técnica utilizada	Funções técnicas associadas
Trincheiras, fossas, poços e estruturas reservatórios com pavimento drenante.	Diminuição da presença de poças d'água.
Técnicas de infiltração.	Contribuição ao equilíbrio do ecossistema (alimentação das raízes dos vegetais e recarga de aquíferos).
Estrutura de reservatório ou bacia enterrada.	Reserva de água para regar jardim, lavagem de veículos ou imóveis, ou como reserva de incêndio, além de quaisquer outros usos menos nobres.
Pavimentos porosos com estruturas de armazenamento.	Redução das poças d'água, efeito visual ao dirigir durante eventos de chuva, <i>etc.</i>
Obras, como bacias de retenção ou poços, que necessitam da escavação, para sua implantação.	Possibilidade da reutilização dos materiais de corte para outros fins
Obras com previsão de áreas com vegetação	Proteção contra a erosão dos terrenos.

A avaliação deste indicador (I_{SC3}) deverá ser feita pelo decisor por meio de análise das diversas alternativas de projeto, verificando a possibilidade da sua utilização para o desempenho de outras funções, além daquelas para as quais foram previstas. A escala utilizada será de análise subjetiva, sendo que, no entanto, sua análise não poderá ser negativa, variando da indiferença à grande melhora, nos casos em que a alternativa

proposta puder desempenhar muitas outras funções técnicas e trazer grandes benefícios à área, além da drenagem e o controle de inundações.

d) Desapropriação de áreas

Para a utilização de determinadas técnicas alternativas de drenagem urbana, algumas áreas podem ser desapropriadas de forma a serem utilizadas pelo sistema proposto. Isso causa um impacto social negativo já que a negociação destas áreas nunca é feita de forma fácil ou natural. Há sempre um desgaste por parte dos administradores no momento de qualquer desapropriação a ser feita. Para avaliar este critério, propõe-se a seguinte expressão, baseada na alternativa de projeto cuja área a ser desapropriada for maior, levando ao impacto mais negativo:

$$I_{SC4} = \frac{A_{\max des} - A_{des}}{A_{\max des}} - 1,0 \quad (4.9)$$

Em que:

- A_{des} = Área total a ser desapropriada pelo sistema de drenagem proposto;
- $A_{\max des}$ = Maior valor, dentre as alternativas estudadas, para a área a ser desapropriada pelo sistema de drenagem.

Este impacto será sempre negativo, com sua escala variando de -1 a 0. Quanto maior for a área a ser desapropriada devido ao sistema de drenagem proposto, mais negativo será o impacto social causado.

4.5- Estrutura da análise dos indicadores

A metodologia para a avaliação das alternativas de projeto deverá ser estruturada como ilustrado na Figura 4.1. Os indicadores referentes aos impactos hidrológicos, sanitários e de qualidade das águas poderão ser integrados de forma a obter-se o indicador de impacto da obra. Da mesma forma, os indicadores de inserção social e ambiental poderão ser relacionados com a finalidade de obtenção do indicador de inserção da obra.

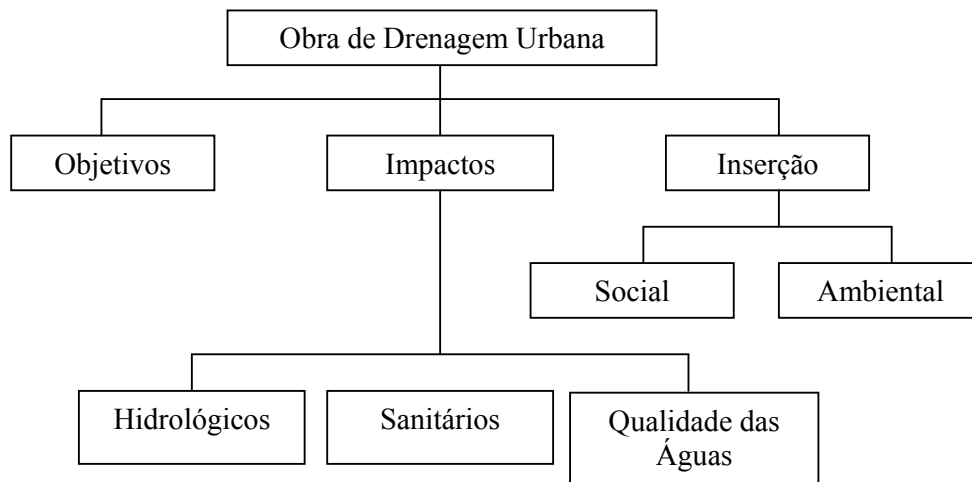


FIGURA 4.1 – Síntese da metodologia de análise

4.6- Análise de importância

Esta é uma etapa de grande relevância no processo de avaliação de alternativas, podendo ter forte influência nos resultados. É importante que os participantes do processo decisório, chamados aqui de decisores, tenham participação ativa, exprimindo suas opiniões sobre os diversos critérios. Cada um deles, pelas funções distintas no processo, se apóia em diferentes convicções ou sistemas de valores. Com isso, é realmente difícil encontrar um consenso ou um compromisso entre eles.

Segundo Azzout (1996), a ponderação dos critérios de decisão pode traduzir uma vontade política mais ou menos pronunciada, fazendo aparecer diferentes estratégias: estratégia econômica, com a intenção de escolher alternativas de menor custo; estratégia ecológica, favorecendo a preservação de ecossistemas; estratégia de praticidade, com a opção por cenários de mais fácil realização ou manutenção, *etc.*

Além disso, uma grande dificuldade vem do fato de que os pesos não são grandezas que podem ser determinadas de forma direta e objetiva, por meio de expressões matemáticas ou experimentações. Sendo assim, deve ser buscada uma forma de determinação dos pesos que tente colocar em contato as avaliações realizadas pelos diversos participantes no processo decisório e siga as tendências de cada grupo de decisores.

Existem muitas técnicas de ponderação para avaliar a importância relativa entre os critérios utilizados. As principais delas são as seguintes (adaptado de Simos, 1990):

- Hierarquização de critérios: os critérios devem ser colocados em categorias pré-definidas, como “muito importante”, “medianamente importante” e “pouco importante”;
- Classificação dos critérios do mais importante ao menos importante, de forma ordinal;
- Notação: a cada um dos critérios é dada uma nota, de 1 a 10;
- Relação de importância: é avaliada a importância dos critérios através da comparação entre eles, dois a dois;
- Distribuição de pesos. É definido um valor para a soma dos pesos, que deve ser distribuído entre eles, por exemplo 10, 100 *etc.*

Segundo Simos (1990), todos eles têm suas desvantagens, constituindo um dos pontos mais fracos dos métodos de ajuda à decisão.

Para o presente trabalho, a escolha foi pela utilização de dois métodos em conjunto. Em um primeiro momento, é sugerido aos participantes do processo que ordenem os indicadores do mais importante ao de menor relevância, em sua opinião. Logo após feita a ordenação, devem ser arbitrados os valores dos pesos dos indicadores, mantendo a soma dos pesos igual a 100. Dessa forma, esperou-se que a avaliação realizada fosse o mais clara e transparente possível e ao mesmo tempo simples.

4.7- Participantes do processo decisório

As decisões a serem tomadas ao curso do processo são feitas por um conjunto de atores. Segundo Roy e Bouyssou (1993), *“um indivíduo ou grupo de indivíduos é ator de um processo de decisão se, em primeiro grau por suas intenções ou em segundo grau por meio de intervenções de outros indivíduos, ele influencia direta ou indiretamente a decisão”*.

Nesse sentido, foram definidos para esta pesquisa os principais atores participantes do processo decisório na escolha de alternativas em drenagem urbana, como sendo:

- Os órgãos ambientais, responsáveis pela avaliação e aprovação de empreendimentos de drenagem urbana;
- Os órgãos gestores municipais, responsáveis pelas obras e manutenção desses empreendimentos no meio urbano;
- Engenheiros projetistas ou empresas de consultoria, responsáveis pelo estudo e projeto de sistemas de drenagem urbana;
- Pesquisadores, desempenhando, por meio de Instituições de Pesquisa, o papel de realizar novos estudos, acompanhando os avanços tecnológicos no domínio da drenagem urbana e desenvolvendo novas opções de sistemas viáveis de serem utilizados.

Para a definição da importância relativa dos diversos indicadores propostos pelo presente trabalho, foram escolhidos três representantes de cada um dos quatro grupos de atores. Esses representantes foram escolhidos em função de sua experiência em projetos de drenagem urbana e no conhecimento e entendimento dos princípios das técnicas clássicas e alternativas de drenagem urbana.

A escolha de três representantes de cada grupo foi feita de forma a buscar uma avaliação mais rica, incorporando um maior número de dados, com a finalidade de aumentar a confiabilidade e o comprometimento das opiniões. Com os resultados da realização de três análises de cada grupo, pode ser percebida com maior clareza a tendência para os valores dos pesos atribuídos. Dessa forma, o valor adotado para o peso de cada indicador na avaliação de cada grupo foi referente à tendência observada.

Para possibilitar a avaliação da importância relativa dos indicadores, foi desenvolvido um questionário padrão. Este questionário era composto de três partes. Na primeira parte, eram explicadas todas as etapas do trabalho realizado pela pesquisa. Nesse momento, o decisor pôde ser situado no processo em que estava participando. Na segunda parte, foi explicado, de forma sucinta, cada um dos critérios e indicadores propostos. Nessa fase, o participante pôde tomar conhecimento e compreender todos os indicadores, de forma a desempenhar sua análise da melhor forma possível. Na terceira parte, há uma planilha, com uma coluna mostrando todos os indicadores, e a última coluna em branco para ser preenchida com os pesos atribuídos na análise. Houve, ainda, um campo de observações no final para que o participante pudesse avaliar a pertinência dos indicadores, excluindo ou acrescentando algum aspecto que ele entendesse como relevante na comparação de alternativas de projeto de sistemas de drenagem urbana.

O questionário foi enviado, com o mesmo teor, para todos os participantes escolhidos para participação no processo decisório. No entanto dois desses participantes, de órgãos gestores municipais, não tiveram tempo e disponibilidade para respondê-lo em tempo hábil para a continuação dos trabalhos. Sendo assim, o participante órgão gestor municipal foi o único que não contou com três respostas, permanecendo com apenas uma avaliação.

Quanto ao meio científico, obtiveram-se quatro respostas ao questionário, o que foi bastante importante no sentido de obter opiniões diferentes, levando a uma avaliação mais concisa e abrangente.

Com os pesos atribuídos para cada um dos indicadores pelos especialistas foi realizada uma análise de tendência, de forma a permitir determinar os valores a serem utilizados na análise multicritério. A análise foi procedida com a comparação dos valores dados pelos especialistas para cada indicador. Os valores que estivessem mais discrepantes foram eliminados e a tendência considerada foi a média dos valores mais próximos. Esse procedimento foi realizado para cada indicador, primeiramente entre cada grupo de especialistas. Com o resultado de cada grupo de especialistas a análise foi procedida novamente, permitindo determinar os pesos dos indicadores utilizados na avaliação realizada por meio dos métodos de análise multicritério.

A planilha utilizada no questionário está mostrada no Quadro 4.2. Esta planilha está preenchida com os valores obtidos pela análise de tendência dos pesos arbitrados pelos especialistas que responderam ao questionário. A relação desses especialistas e os resultados de suas análises estão no Anexo A.

QUADRO 4.2 – Planilha utilizada no questionário, com o resultado da análise de tendência dos pesos arbitrados pelos especialistas.

Critério	Sub critério	Indicador	Peso Atribuído
Objetivo		Atendimento ao objetivo	8,8
Impactos da Obra	Impactos Hidrológicos	Impacto sobre as vazões de jusante	12,4
		Recarga do aquífero	4,3
	Impactos Sanitários	Possibilidade de transmissão de doenças	7,1
		Possibilidade de proliferação de insetos	6,9
	Impactos da qualidade das águas	Impacto das águas superficiais	9,6
		Impacto das águas subterrâneas	6,8
Inserção	Inserção Ambiental	Criação e preservação de habitats	8,3
		Impacto paisagístico	5,2
	Inserção social	Criação de áreas de recreação e lazer e equipamentos urbanos	5,4
		Impacto nas condições de circulação	4,5
		Possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas	3,7
		Desapropriação de áreas	4,9

4.8- Conclusões

Para o desenvolvimento do trabalho de proposição de indicadores foram pesquisados diversos autores com publicações em áreas afins, não tendo descoberto outros trabalhos

relacionados a indicadores referentes à avaliação de sistemas de drenagem urbana. Isso tornou o trabalho mais complexo mas, ao mesmo tempo, interessante e motivador.

O desenvolvimento dos indicadores buscou englobar todas as variáveis necessárias à completa avaliação de sistemas de drenagem urbana, podendo comparar quaisquer alternativas possíveis de arranjos hidráulicos. Entretanto, as variáveis econômicas não foram incluídas por serem de grande complexidade em estudos deste nível, devendo estar contidas análises de custos de implantação, manutenção, durabilidade, operação, dentre outros. Estes aspectos poderão ser, por si só, motivos para a continuação deste trabalho e o desenvolvimento de outro.

Ao propor os indicadores, um aspecto de grande importância foi a sua forma de cálculo. A prioridade na escolha deles foi que os seus valores fossem encontrados por meio do desenvolvimento de equações que utilizassem variáveis de fácil obtenção e entendimento, o que foi conseguido para a maioria. No entanto, há alguns indicadores propostos de caráter puramente qualitativo, sendo mais bem analisados de forma subjetiva pelo analista. Isto é importante para que o analista ou decisor possa desempenhar o seu papel de realmente influenciar a avaliação e escolha do melhor arranjo de projeto. Caso contrário, a análise se tornaria mecânica, sem a necessidade da participação de especialistas na área.

A análise de importância dos indicadores propostos é uma etapa muito importante do processo decisório. Nesse momento, são determinados os pesos que cada critério deverá ter na análise global a ser implementada. Para o desenvolvimento desta etapa do trabalho foi de suma importância a participação dos diversos especialistas na área. Foram consultadas pessoas de todos os setores técnicos da sociedade que participam e têm grande experiência em sistemas de drenagem urbana. Estes especialistas puderam ainda dar a sua opinião e sugestões em relação aos indicadores propostos. Isso pôde dar mais realidade e uma primeira validação dos indicadores propostos, anteriormente à aplicação aos estudos de caso.

5- METODOLOGIA DE ANÁLISE

5.1- Escolha dos métodos de análise multicritério

Muitos são os métodos de análise multicritério e a escolha do melhor deles para a resolução de um determinado problema pode ser complicada. Segundo Generino e Cordeiro Netto (1999), a utilização de um deles irá depender do problema a ser analisado, da familiaridade do analista com determinado método e da existência dos recursos necessários à sua aplicação.

A escolha dos métodos a serem utilizados para a análise em questão foi determinada em função da experiência existente entre os principais trabalhos desenvolvidos na área além da viabilidade da obtenção de meios para a utilização de algum deles.

Harada (1999) verificou, em sua análise bibliográfica, a não utilização de métodos interativos em questões voltadas a recursos hídricos, talvez pela necessidade de se obter uma maior agilidade no processo decisório e pelo pouco entrosamento geralmente existente entre os agentes decisores nesta área. Estes métodos são caracterizados por uma grande seqüência de interações motivando reavaliações nos critérios e nos pesos arbitrados, por parte dos participantes do processo. Sendo assim, a utilização de métodos interativos em situações semelhantes às do trabalho em questão, poderia acarretar uma maior morosidade no processo de avaliação das alternativas de projeto.

Os métodos dos outros dois grupos – métodos baseados na teoria de utilidade-multiatributo e métodos seletivos, mostraram-se bastante interessantes em problemas envolvendo exemplos numéricos e subjetivos na área de recursos hídricos. Especificamente na área de drenagem urbana, a pesquisa bibliográfica realizada não identificou trabalhos realizados com análises multicritério.

Nesse sentido, para a análise multicritério feita neste trabalho, julgou-se interessante a utilização de dois métodos diferentes, de grupos diversos, de forma a poder verificar possíveis diferenças em suas formas de análise e ordenação de alternativas de projeto. Os métodos escolhidos foram os seguintes:

- Programação de Compromisso, da família de métodos baseados na teoria de utilidade-multiatributo;
- Electre, da família de métodos seletivos.

Nos próximos itens será explicado o funcionamento desses métodos e como serão utilizados para o trabalho em questão.

5.2- Programação de Compromisso (do inglês “*Compromise Programming*”)

O método de Programação de Compromisso busca, segundo Zeleny (1973), *apud* Harada (1999), a identificação de soluções não-dominadas, nesse caso, as mais próximas de uma solução ideal. Segundo Souza (1998), esse trabalho é realizado por meio do emprego de uma medida chamada de “grau de proximidade”. Para a análise, é definida, em um primeiro momento, a solução ideal, sendo ela:

$$f^* = (f_1^*, f_2^*, f_3^*, \dots, f_n^*), \quad (5.1)$$

Em que: f_n^* é o melhor valor no conjunto finito dos $f_n(x)$.

A solução ideal é formada então, pelo vetor dos melhores valores possíveis para cada critério, na matriz de avaliação. Em um segundo momento, deve ser definida a solução mais desfavorável, sendo ela determinada pelo vetor f^{**} , com os piores valores encontrados para cada critério:

$$f^{**} = (f_1^{**}, f_2^{**}, f_3^{**}, \dots, f_n^{**}), \quad (5.2)$$

Em que: f_n^{**} é o pior valor no conjunto finito dos $f_n(x)$.

O grau de proximidade pode ser determinado de várias maneiras, sendo sugerido por Goicoechea *et al.* (1982) *apud* Harada (1999), por meio da expressão:

$$I_p = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \left[\frac{(f_i^* - f_i(x))}{(f_i^* - f_i^{**})} \right], \quad (5.3)$$

Em que: λ_i são os pesos de cada critério.

A melhor alternativa é a que tiver menor valor de I_p .

A expressão anterior pode ser também utilizada com algumas variações, com a finalidade de dar maior importância aos desvios da alternativa em relação à solução ideal, assumindo a forma:

$$I_s = \left\{ \sum_{i=1}^n \lambda_i^s \cdot \left[\frac{(f_i^* - f_i(x))}{(f_i^* - f_i^{**})} \right]^s \right\}^{1/s} \quad (5.4)$$

O conjunto das soluções de compromisso para um conjunto de pesos λ_i e o valor de s entre 1 e ∞ constitui um conjunto de compromisso, segundo Souza (1998). Entretanto, na realidade, apenas alguns poucos valores de s fazem com que seja alcançada a solução. Nesse sentido, Duckstein e Opricovic (1980), *apud* Souza (1998), recomendam a utilização apenas dos valores de $s = 1, 2$ e ∞ .

5.3- Electre (do francês “*Elimination et Choix Traduisant Réalité*”)

Dentre os métodos existentes da família Electre, são verificadas diversas variações determinando diferenças importantes na forma de análise. Segundo Azzout (1996), essas diferenças concernem essencialmente:

- Seus objetivos: O procedimento difere segundo o tipo de problema, de escolha, de triagem, de arranjo ou de descrição;
- Natureza dos critérios: Conforme o problema se tratar de critérios verdadeiros ou pseudo-critérios;
- Tipo de classificação: Conforme a relação de classificação seja objetiva ou difusa.

O Quadro 5.1 representa os objetivos e as principais características dos diversos métodos desta família.

QUADRO 5.1 – Objetivos e principais características dos métodos Electre, segundo Maystre *et al.*, 1994 *apud* Azzout, (1996).

Método	Objetivo	Características
Electre I (Roy, 1968)	Escolha de um subconjunto das melhores ações ou das satisfatórias	Utilização de critérios verdadeiros Obtenção de uma classificação objetiva
Electre IS (Roy e Skalka, 1985)	Idem Electre I	Utilização de Pseudo-Critérios Obtenção de uma classificação difusa
Electre TRI (Yu, 1992)	Triagem das ações segundo as características definidas	Utilização de Pseudo-Critérios Obtenção de uma classificação difusa
Electre II (Roy e Berthier, 1971;1973)	Arranjo de classes de equivalência compostas de ações, sendo as classes ordenadas de forma completa ou parcial	Utilização de critérios verdadeiros Obtenção de uma classificação objetiva
Electre III (Roy, 1978)	Idem Electre II	Utilização de Pseudo-Critérios Obtenção de uma classificação difusa
Electre IV (Roy e Hugonnard, 1982)	Idem Electre II	Utilização de Pseudo-Critérios Obtenção de uma classificação difusa Não considera pesos dos critérios

Para o estudo em questão, o objetivo principal é a determinação de uma ordenação de todas as alternativas possíveis de projeto por meio da análise multicritério. Os métodos Electre I, IS e TRI não são adequados para tal, sendo então descartados. No método Electre IV, não são tomados em consideração os diferentes pesos entre os critérios analisados, um aspecto de grande relevância na análise em questão.

A escolha recai então entre os métodos Electre II e III, entre a classificação objetiva ou difusa. O Electre II é de mais fácil aplicação e de mais simples compreensão. No entanto, há uma grande vantagem no método Electre III que é o fato de considerar as incertezas e imprecisões da análise dos critérios, ao utilizar os conceitos de pseudo-critério e, com isso, perceber a indiferença entre duas ações em relação a algum critério.

Seria ilusório fazer a análise de um problema por meio de uma avaliação multicritério sem considerar que há incertezas e imprecisões dentro dos valores calculados ou determinados para cada critério ou indicador. Portanto, mesmo sabendo que o método Electre II é mais simples que o Electre III, a escolha foi pela avaliação por meio deste.

Com efeito, dentre os métodos da família Electre, este tem sido aplicado com grande sucesso na análise de vários tipos de problemas, podendo ser citados:

- Seleção de alternativas de abastecimento de água na Polônia (Roy *et al.*, 1992);
- Seleção de estratégia de desenvolvimento energético na França (Siskos e Hubert, 1983);
- Avaliação de impactos sobre o meio ambiente na Suíça (Simos, 1990);
- Seleção de alternativas para a implantação de centrais nucleares nos Estados Unidos (Roy e Bouyssou, 1983).

5.3.1- Pseudo-Critério

Segundo Roy (1978), o princípio do método Electre III é baseado na comparação de cada duas ações a partir de uma relação chamada de sobre classificação. Dizer que a ação a_i sobre classifica a ação a_j , por exemplo, significa afirmar que a_i é pelo menos tão boa quanto a_j . Estas duas ações podem ser indiferentes ou uma poderá ser preferida em relação à outra em relação a algum critério. Conforme Maystre (1994), *apud* Azzout (1996), o pseudo-critério permite a percepção de uma nuance entre a indiferença e a preferência estrita, com a introdução do conceito de preferência fraca.

As relações de indiferença, preferência fraca e preferência estrita são simbolizadas respectivamente pelas letras I, Q e P.

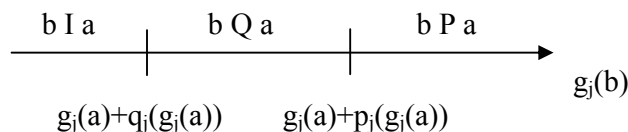
Esse critério é caracterizado pela introdução de dois limiares. O limiar de indiferença q_j e o limiar de preferência estrita p_j . Esses limiares podem ser constantes ou dependentes da ação considerada. Eles são definidos por uma ação do tipo:

$$p_i(g_i(a)) = \alpha + \beta \cdot g_i(a), \tag{5.5}$$

Em que $g_i(a)$ é a avaliação da ação a segundo o critério i.

O limiar q_j representa um valor julgado como insignificante para diferenciar duas ações em relação ao critério j. Quanto ao limiar p_j , tem a função de transmitir a margem máxima de incerteza de cálculo, sobre a qual pode se dizer com certeza que um resultado é melhor que outro.

Graficamente, para indicadores de avaliação crescente, o pseudo-critério pode ser entendido da seguinte forma:



Um critério verdadeiro é um pseudo-critério em que os limiares p_j e q_j são nulos.

5.3.2- Princípios básicos do Electre III

Segundo Roy (1978), o Electre III é baseado na construção de uma sobre classificação difusa entre cada duas ações (a_i e a_j). Esta relação apóia-se nos conceitos de concordância e discordância. A idéia principal é que, se uma ação a_i é melhor que uma ação a_j sobre a maioria dos critérios (concordância), e não existe nenhum critério em que a_i é muito pior que a_j (discordância), então é muito possível que a_i seja ao menos tão boa quanto a_j (relação de sobre-classificação). A noção de discordância é consolidada através de um limite de veto. A relação de sobre classificação se torna difusa por intermédio de um limite de credibilidade. Estas relações de sobre classificação são exploradas de forma a construir duas ordenações completas, chamadas de destilação ascendente e descendente, ou pré-ordenações parciais (Simos, 1990).

A Figura 5.1 representa o algoritmo do ELECTRE III.

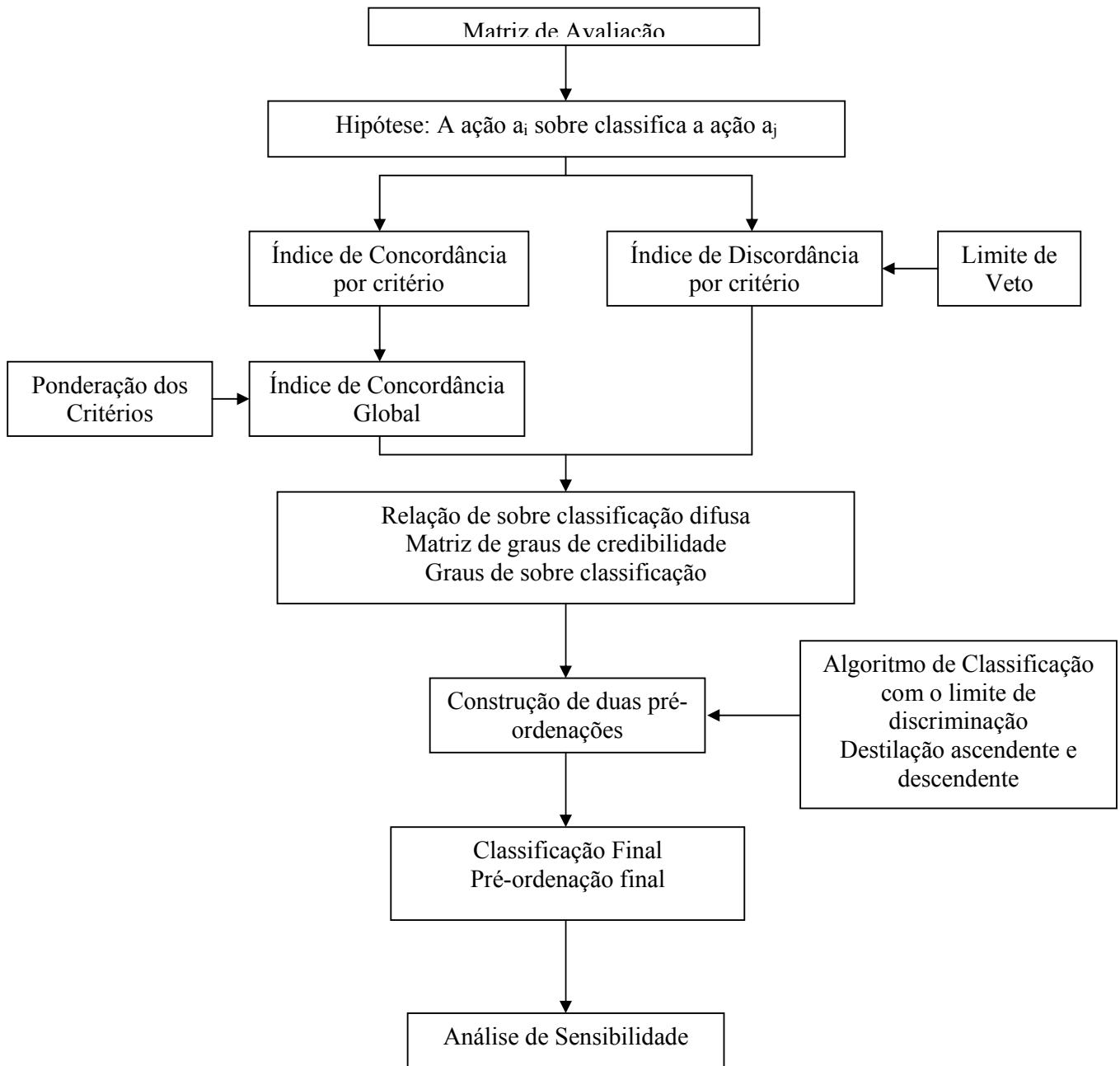


FIGURA 5.1 – Algoritmo do Electre III (adaptado de Simos, 1990)

a) Índice de concordância por critério e Índice de concordância global.

O índice de concordância por critério $c_j(a_i, a_k)$ permite avaliar a medida de quanto a ação a_i é ao menos tão boa quanto a ação a_k , pelo critério j . Este índice pode ser assim definido:

$$c_j(a_i, a_k) = 0 \quad \Leftrightarrow p_j < g_j(a_k) - g_j(a_i);$$

$$0 < c_j(a_i, a_k) < 1,0 \text{ (interpolação linear)} \Leftrightarrow q_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq p_j;$$

$$c_j(a_i, a_k) = 1,0 \quad \Leftrightarrow g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq q_j.$$

O índice de concordância global C_{ik} , permite por sua vez, mensurar o quanto a ação a_i é ao menos tão boa quanto a ação a_k , considerando todos os critérios. Ele pode ser definido como:

$$C_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^m P_j \cdot c_j(a_i, a_k)}{\sum_{j=1}^m P_j}; \quad (5.6)$$

Em que:

P_j = Peso do critério j ;

$c_j(a_i, a_k)$ = índice de concordância do critério j .

b) Limiar de veto e Índice de discordância

O limiar de veto, v_j , significa a diferença $g_j(a_k) - g_j(a_i)$, a partir da qual pode-se recusar o fato de que a ação a_i sobre-classifica a ação a_k , mesmo que todos os outros critérios estejam contra esta recusa.

O índice de discordância $d_j(a_i, a_k)$ tem a finalidade de enfraquecer a relação de concordância. Ele pode ser definido como:

$$d_j(a_i, a_k) = 1,0 \quad \Leftrightarrow v_j < g_j(a_k) - g_j(a_i);$$

$$0 < d_j(a_i, a_k) < 1,0 \text{ (interpolação linear)} \Leftrightarrow p_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq v_j;$$

$$d_j(a_i, a_k) = 0 \quad \Leftrightarrow g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq p_j.$$

c) Relação de sobre-classificação difusa e Grau de credibilidade

Por meio do método Electre III, sempre existe uma relação de sobre-classificação entre duas ações. No entanto, ela será difusa pois, em alguns casos de comparações entre duas ações, ela será inegável mas em outros poderá ser contestável. Este fato é explicado pelo grau de credibilidade da sobre-classificação. Ele consiste em atenuar o índice de

concordância, tomando em consideração os índices de discordância d_j . O Grau de credibilidade, designado por meio de δ_{ik} é assim definido:

$$\delta_{ik} = C_{ik} \prod_{j \in F} \frac{1 - d_j(a_i, a_k)}{1 - C_{ik}}; \quad (5.7)$$

Em que:

F = Conjunto de critérios pelos quais o índice de discordância é superior ao índice de concordância global;

C_{ik} = Índice de concordância global;

$d_j(a_i, a_k)$ = Índice de discordância do critério j.

d) Princípio do algoritmo

O objetivo principal deste método é de construir duas pré-ordenações completas fazendo com que todas as ações apareçam como estritamente preferidas em relação às piores classificadas que ela. Para esta determinação são realizados dois processos, a destilação descendente e a destilação ascendente. O resultado final é dado quando da proposição de uma classificação mediana parcial, que considera as ações dificilmente comparáveis (ações com posições muito diferentes nas duas pré-ordenações completas).

5.4- Utilização dos softwares

Para a realização dos trabalhos de análise multicritério para o presente estudo, foram escolhidos dois softwares desenvolvidos especificamente para os métodos Electre III e Programação de Compromisso.

Para a realização da análise segundo a metodologia Electre III, o software utilizado foi o desenvolvido pelo Lamsade – *Laboratoire d'analyse et modelisation de système pour l'aide a la décision* – da *Université Paris-Dauphine* em Paris, na França. A versão utilizada foi a 2.1, de dezembro de 1989.

O software para a análise segundo a metodologia do “Compromise Programming” (Programação de Compromisso), foi desenvolvido para o JESEW – Joint Ecological-Socioeconomic Evaluation of Water Resources Systems – por Andras Bardossy e Istvan Bogardi. Este é o software mais utilizado para a análise segundo a metodologia da Programação de Compromisso.

5.4.1- Estrutura dos softwares

Para a utilização dos softwares escolhidos para a análise multicritério, é importante que sejam definidos os parâmetros de entrada a serem utilizados.

a) Electre III

No caso do Electre III, deve ser definida a lista de critérios, alternativas e performances de cada ação para cada critério, além dos limiares de indiferença, preferência e veto.

Para os critérios de análise devem ser determinados:

- O nome de cada um deles, já determinado anteriormente;
- Um código associado a cada critério;
- O sentido de preferência, que para os indicadores propostos nesse trabalho será sempre crescente. O sentido será decrescente em critérios econômicos, por exemplo;
- Os limiares de indiferença, preferência e veto, por meio dos valores de α e β , segundo a equação:
 - $P_i(g_i(a)) = \alpha + \beta \cdot g_i(a)$; em que $g_i(a)$ é a avaliação da alternativa a segundo o critério i .
- Os pesos atribuídos a eles, definidos conforme a análise de importância realizada.

Para as diferentes alternativas de projeto devem ser determinados:

- O nome da alternativa, que será de acordo com as características principais de cada alternativa de projeto possível a ser estudada;
- Um código a ser associado a cada alternativa;
- Os valores das performances de cada alternativa de projeto para todos os critérios definidos.

O software apresenta como resultados a matriz de credibilidade, as destilações ascendentes e descendentes, além da pré-ordenação final das alternativas.

b) Programação de Compromisso

Para a realização da análise por meio deste Software, devem ser determinados, no primeiro momento, os indicadores a serem avaliados. A segunda etapa do processo é a determinação dos pesos de cada um dos indicadores na avaliação a ser realizada.

Definem-se a seguir, os valores dos indicadores para a alternativa ideal e, logo após, os valores dos indicadores para a pior alternativa possível

Após a completa identificação e caracterização dos indicadores a serem utilizados na análise, devem ser lançados os valores das performances de cada alternativa de projeto para todos os critérios.

O software tem como resultado a ordenação das alternativas de projeto, segundo os parâmetros de cálculo determinados por meio da comparação de cada alternativa com as soluções ideal e mais desfavorável.

5.4.2- Adaptações nos valores dos indicadores

Para a utilização dos indicadores, como valores de entrada nos softwares escolhidos para a análise multicritério, foi necessária a sua padronização, de forma a que obedecessem a uma mesma escala. Sendo assim, os valores encontrados para cada um dos indicadores foram adaptados da seguinte forma:

- No caso dos indicadores de análise de subjetiva, em que houve 7 níveis de avaliação, a escala adotada acompanhou a sua ordenação, variando de 1 a 7. Sendo assim, à avaliação “Grande piora” foi dado o valor 1, à “Sensível piora” foi dado o valor 2, e assim progressivamente, até o valor 7 para a avaliação da alternativa como “Grande melhora”;
- Para os indicadores cuja avaliação se realizou por meio de expressões matemáticas, variando sempre de -1 a $+1$, seus valores foram transpostos para a escala de 1 a 7. Sendo assim, o valor encontrado de -1 como resultado de cálculo para o valor do indicador, foi modificado para 1 na nova escala, o valor 0 da escala anterior passou para 4 na nova escala adotada e o valor $+1$ calculado através das expressões de cálculo foi alterado para 7 nesta nova escala. Os valores intermediários foram transpostos por meio de regras de três simples.

5.4.3- Definição dos limiares para o Electre III

Conforme afirmado anteriormente, o método Electre III permite que sejam introduzidos três tipos de comparação entre duas ações: indiferença (I), preferência fraca (Q) e preferência forte (P). Para que sejam percebidas essas relações, é importante que sejam atribuídos limiares para cada critério ou indicador a ser analisado. Esses limiares a serem atribuídos são os seguintes:

- Limiar de indiferença: tem a função de determinar o limite entre a indiferença e a preferência fraca entre duas alternativas, segundo determinado critério ou indicador;
- Limiar de preferência: determina o limite entre a preferência fraca e a preferência forte entre duas alternativas;
- Limiar de veto: diferença entre os valores de duas avaliações, a partir da qual pode-se recusar o fato de que uma ação sobre classifica a outra, mesmo que todos os outros critérios estejam contra esta recusa.

A definição desses limiares não é uma tarefa fácil. No entanto, é importante a atribuição desses valores uma vez que sem eles, ter-se-iam critérios verdadeiros. Nesse caso, seria perdida a noção do princípio do pseudo-critério, utilizada na análise do Electre III.

Esses limiares têm como principal finalidade introduzir a parte aproximada ou arbitrária que pode ocorrer no cálculo de alguns dos indicadores e que pode influenciar a análise global. A atribuição desses valores deve ser discutida com os participantes do processo decisório. No entanto, devido à sua complexidade e especificidade, tornando difícil um acordo entre as análises de todos os participantes do processo decisório, decidiu-se arbitrar valores, com base em outras análises semelhantes já realizadas, como a de Harada (1999) e Azzout (1996), e que teriam grande probabilidade de serem aceitos

pela maioria. Estes parâmetros foram arbitrados com base nos valores obtidos para os indicadores e nos níveis de incerteza previstos na avaliação de cada um deles.

Para o indicador I_o , de atendimento ao objetivo, cujo cálculo depende de valores numéricos, como tempos de retorno, não foram introduzidos limiares, uma vez que sua expressão de cálculo o torna um critério verdadeiro.

Quanto aos indicadores de impacto hidrológico (I_{H1} e I_{H2}), foi considerada como limiar de indiferença uma variação de 10% na comparação dos valores calculados para os indicadores de cada duas alternativas. Para o limiar de preferência o valor adotado foi de uma variação de 50% entre duas alternativas e para o limiar de veto, o valor de 80%.

Para os indicadores I_{A1} (criação e preservação de habitats) e I_{SC1} (criação de áreas de recreação, lazer e equipamentos urbanos), cujos valores foram obtidos por meio de expressões de cálculo, o limiar de indiferença adotado foi de 5% de variação entre os valores de cada duas alternativas. Os limiares de preferência e veto adotados foram, respectivamente, de 40% e 80%.

Para os indicadores I_{SC4} – de desapropriação de áreas – cujo valor foi também obtido por meio de uma expressão matemática, o limiar adotado como de indiferença foi de uma variação de 1,0 ponto no valor do indicador. Para o limiar de preferência, foi adotado o valor de 2,5 pontos na comparação entre cada duas alternativas e o limiar de veto não foi aplicado.

Quanto aos demais indicadores, de análise subjetiva, não foi aplicado o limiar de indiferença, acreditando já estar sendo avaliada dentro do critério de atribuição das notas realizado pelo analista. Em relação ao limiar de preferência, foi considerada uma variação superior a 2,0 pontos na avaliação de cada duas alternativas. O limiar de veto foi considerado para uma variação de 4,0 pontos no valor dos indicadores entre cada duas alternativas.

5.5- Estrutura da análise proposta

A análise das alternativas com os indicadores propostos, por meio dos métodos de análise multicritério deve ter como resultado a ordenação final destas alternativas da melhor para a pior. A estrutura proposta para a análise a ser desenvolvida está mostrada na Figura 5.2.

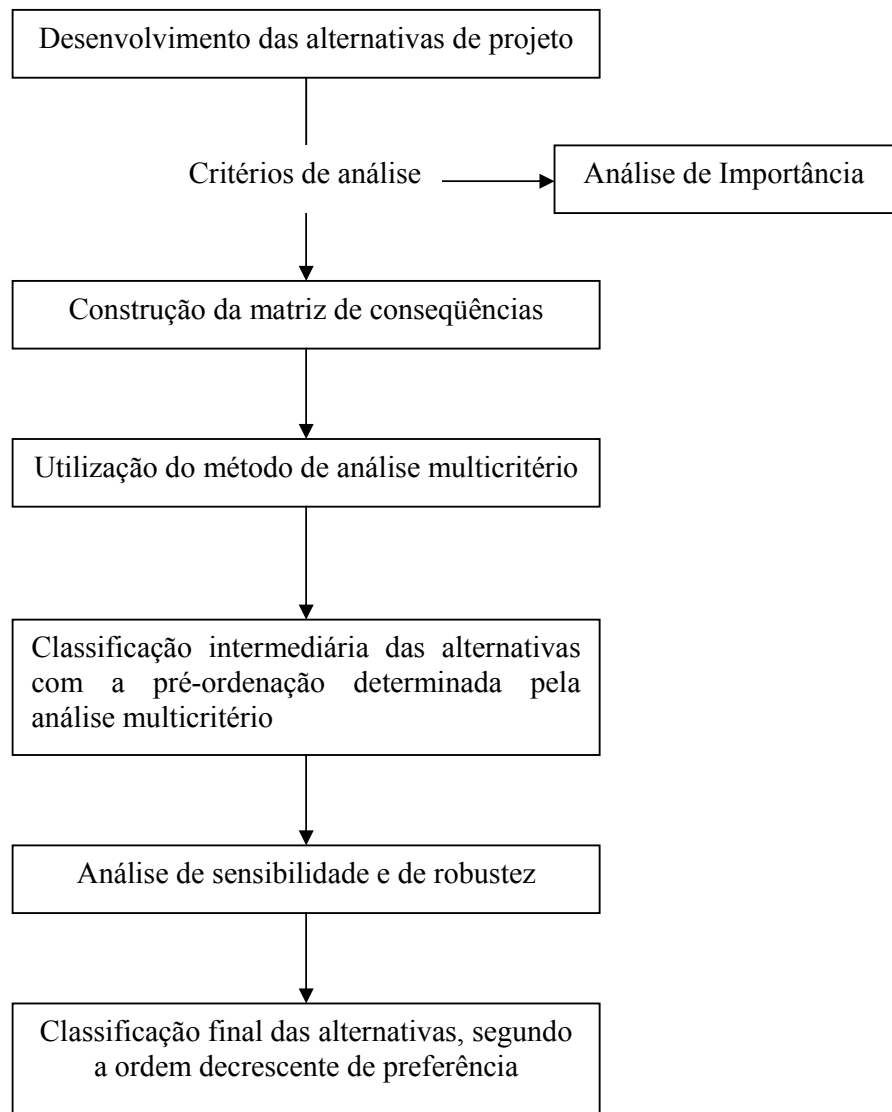


FIGURA 5.2 – Estrutura proposta para a análise a ser desenvolvida.

5.6- Conclusões

A escolha dos métodos de análise multicritério a serem utilizados não foi uma tarefa fácil. Muitos são os métodos existentes e já bastante trabalhados. A pesquisa bibliográfica encontrou alguns usos dessa metodologia em estudos referentes a recursos hídricos. Entretanto, não foi encontrado nenhum caso da utilização desses métodos em drenagem urbana. Esse fato fez com que fosse procurado, dentre os métodos utilizados para recursos hídricos, aquele que tivesse maior possibilidade de uso e adequação à situação presente. Além disso, foi observada a disponibilidade de meios para a utilização desses métodos, uma vez que a sua modelagem é, na maioria das vezes, de grande complexidade.

Sendo assim, foram escolhidos dois métodos, Electre III e Programação de Compromisso, com a finalidade de observar as possíveis diferenças nas suas formas de encarar os problemas e na ordenação dada como solução para os estudos de caso.

Os valores dos indicadores a serem utilizados como dados de entrada nos softwares foram transpostos para a escala única de 1 a 7 de forma a dar maior clareza na comparação de alternativas e critérios além de facilitar a entrada de dados nos softwares. Essa escala poderia ter sido de 1 a 5, de 1 a 9 e assim por diante. No entanto, ela foi escolhida por mostrar um fácil entendimento para os analistas e decisores participantes do processo. Além disso, no caso dos indicadores de análise subjetiva, a existência de três níveis positivos e três negativos pode favorecer a comparação entre duas situações favoráveis, mas em graus diferentes, por exemplo.

A definição dos limiares de indiferença, preferência e veto, no caso do Electre III, é uma etapa muito importante do trabalho, de forma a permitir caracterizar os pseudo-critérios. No entanto, pela escassa bibliografia referente à utilização do Electre III em análises de recursos hídricos, esta tarefa tornou-se de grande complexidade. Estes limiares, conforme afirmado anteriormente, têm a função de introduzir a parte aproximada ou arbitrária que pode ocorrer no cálculo de alguns dos indicadores e que pode influenciar a análise global. Sendo assim, foram arbitrados em função dos outros poucos estudos existentes, mas podem ser discutidos, podendo ser reduzidos ou acrescidos em novos trabalhos em função da arbitrariedade no cálculo de algum indicador.

No próximo capítulo, serão realizados os estudos de caso, apresentando-se as alternativas de projeto para cada caso, com os valores calculados para os indicadores propostos e as ordenações dadas pela análise multicritério por meio dos dois métodos utilizados.

6- APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA EM ESTUDOS DE CASO

6.1- Technopolis (Bordeaux – França)

6.1.1- Caracterização do empreendimento

A Technopole de Bordeaux-Montesquieu é uma área de 22,6ha na periferia da cidade de Bordeaux, região oeste da França. Ela faz parte de um complexo de cerca de 1.200ha em uma região plana, das mais importantes vinícolas do País, e ainda não urbanizada. O empreendimento em questão tem a finalidade de acolher diversas empresas e indústrias produtoras de equipamentos de alta tecnologia, com lotes de área mínima de 2.000m². A Figura 6.1 apresenta um mapa de localização da Technopolis.



FIGURA 6.1 – Mapa de Localização da Technopolis

O plano diretor de urbanismo desenvolvido para a área ofereceu diferentes possibilidades, bastante flexíveis, de uso e ocupação do solo. Para o desenvolvimento do sistema de drenagem, foram estudadas todas as restrições e trunfos existentes na área do empreendimento. O pensamento inicial, segundo Certu (1998), era de conservar sua harmonia, valorizar seus contrastes, além de respeitar o equilíbrio existente. Do ponto de vista hidráulico, o objetivo principal era o de não alterar a situação de momento, a jusante.

As características físicas do local impuseram fortes restrições ao desenvolvimento do projeto, podendo ser citadas as principais, conforme Certu (1998):

- Restrições naturais: A área era muito plana e com uma drenagem muito ruim, uma vez que o lençol era subaflorante. O relevo era pouco favorável aos escoamentos superficiais, e sim a processos de armazenamento;
- Restrições geológicas: O subsolo era predominantemente argiloso, constituído principalmente de cascalho, areia e calcário;
- Restrições referentes à rede hidrográfica existente: Os terrenos eram pouco permeáveis e essencialmente planos, fazendo com que a água escoasse em uma rede ramificada e com baixa capacidade, convergindo a diversos pequenos cursos de água em que as vazões não passavam de alguns litros por segundo em períodos de estiagem. Um desses cursos atravessa o castelo de Montesquieu, daí o nome da área, e um outro passa por uma reserva ecológica chegando a jusante em áreas aglomeradas particularmente vulneráveis em termos de inundação.

O projeto urbanístico, por si só, gerou outras diversas restrições como:

- Diversos tipos de usos e espaços muito próximos devendo se conciliar, como tráfego, espaços verdes, industriais e de lazer;
- As atividades industriais desenvolvidas na área causariam um grande risco de poluição ambiental;
- A impermeabilização criada pelas construções e vias imporia regras que deveriam ser precisas em relação à evacuação das águas pluviais;
- A jusante da área há uma área urbanizada que já convivía com problemas de inundações e que não poderiam ser agravados.

Sendo assim, em função das diversas restrições existentes à implantação de um sistema de drenagem na área, foram estudadas diversas alternativas de projeto, de forma a suprir os problemas já existentes e proporcionando ganhos hidráulicos com as mínimas perdas ambientais possíveis.

Esta área foi escolhida para ser trabalhada como estudo de caso em função da grande amplitude de alternativas de projeto estudadas e das grandes diferenças de projeto, com a utilização de sistemas clássicos, intermediários, alternativos e a utilização de estruturas de infiltração.

6.1.2- Alternativas de projeto

Para o desenvolvimento do estudo referente à drenagem da área, diversas foram as alternativas de projeto consideradas. O estudo inicial desenvolveu os seguintes cenários possíveis:

- Cenário I – Sistema clássico, com a adoção de uma rede separativa clássica, sem respeitar as restrições de vazão máxima a jusante;
- Cenário II – Sistema intermediário, com a incorporação de uma bacia de retenção ao sistema clássico, de forma a respeitar os limites de vazão a jusante;
- Cenário III – Sistema alternativo, com a utilização de pavimentos com estruturas de reservação, valas e uma bacia de retenção, assegurando uma proteção em cascata da área, além de estar respeitando os limites de vazão a jusante;
- Cenário IV – Sistema alternativo com infiltração, com a utilização de pavimentos com estruturas de reservação, valas e bacias, todos com a possibilidade de infiltração assegurando uma vazão nula a jusante da área.

O projeto técnico inicial havia sido realizado pelo Certu (1998), com o desenvolvimento dos cenários I, II e III. Posteriormente, por ocasião dos estudos de pós-doutoramento do professor Márcio Baptista do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da EE-UFGM, realizados no INSA – *Institut National des Sciences Appliquées* – em Lyon, na França, em 1999, foi desenvolvido o cenário IV, com a previsão de estruturas de infiltração, de forma a permitir uma comparação de uma gama mais significativa de cenários. Esse trabalho, de desenvolvimento do cenário IV gerou a publicação de Baptista *et al.* (2000), contendo todas as informações técnicas.

Todos os cenários foram estudados para tempos de retorno de 10, 30 e 100 anos. A vazão de jusante limite adotada para os cenários II e III foi de 3,0 l/s.ha, conforme preconiza a legislação vigente na região de Bordeaux.

a) Cenário I

A realização da drenagem da área por meio do sistema clássico foi desenvolvida com a utilização de redes de drenagem, segundo os princípios do sistema separador, com a adoção de tubulações de diâmetros comerciais. A vazão escoada foi toda direcionada para um único exutório com a função de descarregar rapidamente a jusante toda a vazão escoada.

Os cálculos realizados levaram a vazões de jusante nos valores de 1.074, 1.479 e 2.127 l/s, respectivamente para os tempos de retorno de 10, 30 e 100 anos. Uma vez que a superfície total da área é de 22,6ha e o limite regulamentar da região corresponde a 3,0 l/s.ha, percebe-se que as vazões escoadas a jusante são muito superiores ao valor de 68,0 l/s, determinando aí um limite à utilização do sistema clássico.

b) Cenário II

O cenário II manteve a situação de redes de drenagem utilizadas no cenário I. No entanto, para que pudesse ser cumprida a legislação referente à vazão máxima de

jusante, foi projetada a construção de uma bacia de retenção, com a finalidade de amortecimento de cheias, provocando o rearranjo temporal das vazões escoadas.

Sendo assim, os cálculos e simulações realizados demonstraram a necessidade de que a bacia de retenção tivesse os volumes de 5.066m³, 7.344m³ e 10.739m³, para a proteção contra chuvas de tempos de retorno de 10, 30 e 100 anos, respectivamente, e mantendo a jusante a vazão máxima de 68,0 l/s em todos os casos.

c) Cenário III

A utilização de técnicas alternativas de drenagem urbana fez com que fosse possível, segundo este cenário, a manutenção da vazão máxima de 68,0 l/s exigida pela legislação local. Para cada um dos tempos de retorno simulados, foi desenvolvido um arranjo diferente de projeto:

- Cenário III-10: adoção do sistema de pavimentos com estruturas de reservação no sistema viário e estacionamentos, de forma a provocar o rearranjo temporal das vazões escoadas a jusante para o período de retorno de 10 anos;
- Cenário III-30: adoção de pavimentos com estrutura de reservação em conjunto com um sistema de valas junto ao sistema viário, estacionamentos e parcelas, provocando a segurança da área em relação às chuvas com tempos de retorno de 30 anos;
- Cenário III-100: adoção de pavimentos com estruturas de reservação e valas, operando conjuntamente com uma bacia de retenção a jusante, permitindo o amortecimento das cheias com tempo de retorno de 100 anos.

d) Cenário IV

Assim como no cenário III, neste caso é estudada a drenagem da área em questão com a aplicação de técnicas alternativas de drenagem urbana. No entanto, para este cenário, é prevista a infiltração da totalidade das águas pluviais, acarretando vazão de jusante nula.

As técnicas utilizadas no estudo são as mesmas do cenário III, ou seja, para a prevenção de chuvas com período de retorno decenal, cenário IV-10, pavimentos com estruturas de reservação. Para tempo de retorno de 30 anos, cenário IV-30, esta técnica é utilizada em conjunto com valas de infiltração no sistema viário, estacionamentos e parcelas. Foi estudada ainda a prevenção contra chuvas de tempo de retorno de 100 anos, desenvolvendo o cenário IV-100, em que as técnicas anteriores foram utilizadas em conjunto com uma bacia de infiltração.

6.1.3- Matriz de conseqüências

A matriz de conseqüências é a planilha com a síntese dos valores de cada um dos critérios para cada uma das alternativas de projeto. No presente caso, são apresentadas duas matrizes: a primeira com os valores calculados dos indicadores segundo as expressões e critérios de avaliação anteriormente demonstrados; a outra com a escala corrigida dos indicadores para os valores a serem utilizados na análise multicritério. Essas matrizes são mostradas nos quadros 6.1 e 6.2, respectivamente.

QUADRO 6.1 – Matriz de Conseqüências para o estudo de caso de Technopolis.

Alternativa/Indicador	I _o	I _{H1}	I _{H2}	I _{S1}	I _{S2}	I _{Q1}	I _{Q2}	I _{A1}	I _{A2}	I _{SC1}	I _{SC2}	I _{SC3}	I _{SC4}
I-10	0,10	0,06	0	I	I	PP	I	0	I	0,87	I	I	0
I-30	0,30	0,05	0	I	I	PP	I	0	I	0,87	I	I	0
I-100	1,00	0,03	0	I	I	PP	I	0	I	0,87	I	I	0
II-10	0,10	1,00	0	PP	PP	I	I	0,06	PM	0,93	I	PM	-0,30
II-30	0,30	1,00	0	PP	PP	I	I	0,09	PM	0,96	I	PM	-0,44
II-100	1,00	1,00	0	PP	PP	I	I	0,13	PM	1,00	I	PM	-0,64
III-10	0,10	1,00	0	I	I	PM	I	0	I	0,87	PM	I	0
III-30	0,30	1,00	0	PP	PP	PM	I	0,09	PM	0,87	PM	PM	-0,47
III-100	1,00	1,00	0	SP	SP	SM	I	0,20	SM	0,98	PM	SM	-1,00
IV-10	0,10	1,00	0,18	I	I	I	PM	0	I	0,87	PM	I	0
IV-30	0,30	1,00	0,57	PP	PP	I	PM	0,09	PM	0,87	PM	PM	-0,47
IV-100	1,00	1,00	0,67	SP	SP	I	SM	0,20	SM	0,98	PM	SM	-1,00

QUADRO 6.2 – Matriz de Conseqüências para o estudo de caso de Technopolis, com a escala corrigida.

Alternativa/Indicador	I _o	I _{H1}	I _{H2}	I _{S1}	I _{S2}	I _{Q1}	I _{Q2}	I _{A1}	I _{A2}	I _{SC1}	I _{SC2}	I _{SC3}	I _{SC4}
I-10	4,30	4,19	4,00	4	4	3	4	4,00	4	6,61	4	4	4,00
I-30	4,90	4,14	4,00	4	4	3	4	4,00	4	6,61	4	4	4,00
I-100	7,00	4,10	4,00	4	4	3	4	4,00	4	6,61	4	4	4,00
II-10	4,30	7,00	4,00	3	3	4	4	4,18	5	6,79	4	5	3,10
II-30	4,90	7,00	4,00	3	3	4	4	4,27	5	6,88	4	5	2,68
II-100	7,00	7,00	4,00	3	3	4	4	4,39	5	7,00	4	5	2,08
III-10	4,30	7,00	4,00	4	4	5	4	4,00	4	6,61	5	4	4,00
III-30	4,90	7,00	4,00	3	3	5	4	4,27	5	6,61	5	5	2,59
III-100	7,00	7,00	4,00	2	2	6	4	4,60	6	6,94	5	6	1,00
IV-10	4,30	7,00	4,54	4	4	4	5	4,00	4	6,61	5	4	4,00
IV-30	4,90	7,00	5,71	3	3	4	5	4,27	5	6,61	5	5	2,59
IV-100	7,00	7,00	6,01	2	2	4	6	4,60	6	6,94	5	6	1,00

6.1.4- Resultado da Programação de Compromisso

Utilizando o método da Programação de Compromisso para a ordenação de alternativas para o estudo de caso em questão, o resultado pode ser verificado na Figura 6.1. Os pesos dos indicadores na análise global foram em função de uma busca consensual, procurando determinar a tendência dentre os valores dados pelos especialistas. Estes valores dos pesos e sua análise estão no Anexo A.

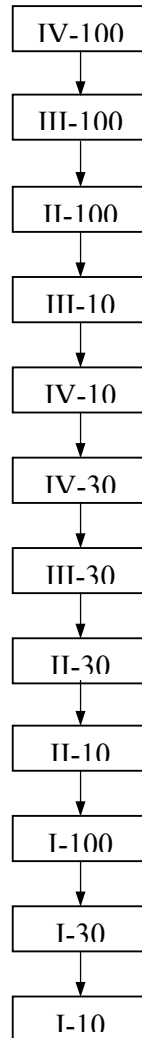


FIGURA 6.2 – Ordenação de Alternativas para o caso de Technopolis segundo a Programação de Compromisso.

6.1.5- Resultados do Electre III

Utilizando o Electre III para a ordenação das alternativas estudadas para a drenagem da área de Technopolis, obteve-se o resultado mostrado na Figura 6.2, com os mesmos

pesos usados para a Programação de Compromisso, buscando determinar a tendência entre os valores dados pelos especialistas.

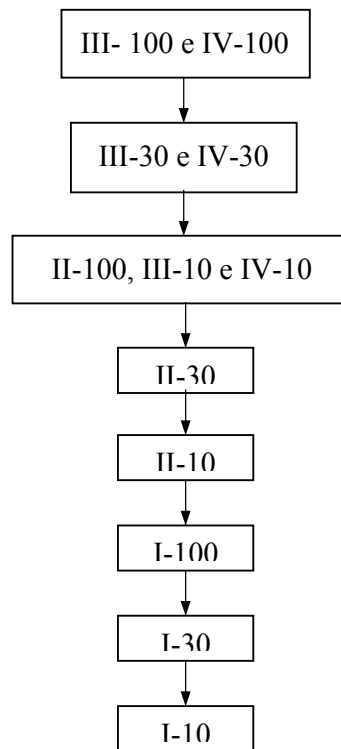


FIGURA 6.3 – Ordenação de Alternativas para o caso Technopolis segundo o Electre III.

6.2- Região da cidade de Goiânia-GO

6.2.1- Caracterização do empreendimento

A segunda área escolhida para desenvolvimento do estudo de caso é uma região intensamente urbanizada na cidade de Goiânia-GO. A Figura 6.4 apresenta um mapa de localização da cidade de Goiânia. Essa região foi objeto da dissertação de mestrado de Jussanã Milograna (Milograna, 2001) pela Universidade de Brasília, com a orientação do professor Néstor Aldo Campana da UnB.



FIGURA 6.4 – Mapa de localização da cidade de Goiânia.

A região, com cerca de 17ha de área, faz parte de uma sub-bacia da bacia hidrográfica do córrego Vaca Brava, o afluente mais extenso do córrego Cascavel. A maior parte de sua extensão está situada em área nobre. O córrego em questão teve, por algum tempo, suas nascentes comprometidas por lançamentos das redes de esgoto sanitário, erosão e desmatamento.

A bacia compreende parte de seis bairros, sendo eles Bueno, Bela Vista, Jardim América, Marista, Vila Santa Efigênia e Vila Americano do Brasil, além do parque do Vaca Brava com a finalidade de oferecer lazer à população, principalmente durante os fins de semana e nos fins de tarde. A área compreende, ainda, duas praças T-25 e a rótula de encontro das avenidas T-65 e 85, que foram opções de estruturas de retenção estudadas.

Conforme afirmado anteriormente, a região encontra-se com alto índice de urbanização, sendo comum encontrar lotes com 100% de sua área impermeabilizada, ocupados por edifícios residenciais e comerciais. Sendo assim, durante os eventos de precipitação com grande intensidade é comum verificar problemas no trânsito de veículos e pedestres em diversos pontos da bacia.

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

6.2.2- Alternativas de projeto

Na análise realizada, Milograna (2001) considerou três alternativas para a drenagem no período futuro para a área em questão. Em seu trabalho as alternativas foram comparadas segundo critérios técnicos e custo de implantação das obras. O estudo foi realizado para um cenário futuro, com a ocupação prevista para a região a partir da Lei de Zoneamento e Uso do Solo aprovada no ano de 1994. O presente trabalho considerou todas as três alternativas, sendo elas:

- Cenário I – Sistema clássico, com a adoção de uma rede separativa clássica, sem respeitar as restrições de vazão máxima a jusante;
- Cenário II – Sistema intermediário, com a incorporação de duas bacias de retenção em áreas públicas, ao sistema clássico;
- Cenário III – Sistema intermediário, com a incorporação de bacias de retenção na saída de cada parcela, ao sistema clássico;

a) Cenário I

O primeiro cenário, foi desenvolvido com a previsão de drenagem segundo as técnicas clássicas de drenagem urbana, com um sistema de redes, direcionando toda a água pluvial escoada para um único exutório de jusante, em função do talvegue de escoamento do córrego já existente na área.

As simulações realizadas determinaram vazão de jusante de 4.784 l/s para o tempo de retorno de 5 anos, adotado como recomendado, segundo Milograna (2001). Essa vazão foi comparada com a vazão de jusante para a área, para a situação de pré-urbanização de 2.725 l/s, para o mesmo tempo de retorno, demonstrando um grande acréscimo de vazão para o curso de água em função da urbanização.

b) Cenário II

Em relação às redes de drenagem, este cenário manteve sua locação conforme o cenário I. No entanto, previu-se a utilização de duas áreas públicas já existentes – praça T-25 e rótula do encontro das avenidas 85 e T-63 – como reservatórios de retenção. Os contornos das áreas públicas existentes seriam aproveitados, definindo a geometria dos reservatórios a serem abertos.

Na simulação hidrológica realizada, o hidrograma amortecido pelo primeiro reservatório entrou novamente na galeria continuando a propagação do escoamento no restante da área. A praça T-25, como reservatório de jusante, foi a estrutura de retenção para o hidrograma final de propagação.

Os cálculos realizados determinaram áreas inundadas de 807m² e 1950m², respectivamente, para os reservatórios da rótula de encontro das avenidas 85 e T-63 e da praça T-25, com profundidade máxima de 1,0m. Sendo assim a vazão máxima prevista a jusante, com tempo de retorno de 5 anos e com o amortecimento proporcionado pelos reservatórios em questão, foi de 2.607 l/s, inferior à vazão referente à situação de pré-urbanização, informada anteriormente como 2.725 l/s.

c) Cenário III

Assim como nos cenários I e II, a localização das redes de drenagem foi mantida. A diferença neste caso, foi a adoção de um reservatório para cada lote, proporcionando a redução das vazões de pico. Os reservatórios foram localizados na saída de cada lote, no lugar da caixa de inspeção. O dimensionamento dos reservatórios foi realizado com a previsão de ocupação de futuro. A propagação das vazões a jusante dos lotes foi semelhante à realizada para o cenário I, com a diferença de vazões nas redes devido ao amortecimento realizado nas parcelas.

No estudo realizado por Milograna (2001), as áreas e volumes necessários para cada reservatório foram determinados de acordo com as áreas dos lotes e a impermeabilização prevista, de forma a manter a jusante da área em questão uma vazão inferior à referente à situação de pré-urbanização da área.

Sendo assim, os cálculos realizados determinaram uma área total ocupada pelos reservatórios nos lotes de 2.474m², com profundidade máxima de 0,95m. A vazão máxima prevista a jusante com o tempo de retorno de 5 anos e com o amortecimento proporcionado pelos reservatórios na saída das parcelas foi de 2.466 l/s.

6.2.3- Matriz de conseqüências

Assim como para o estudo de caso anterior, são apresentados dois quadros com matrizes de conseqüências: o primeiro, com os valores calculados dos indicadores segundo as expressões e critérios de avaliação anteriormente demonstrados; o segundo com a escala corrigida dos indicadores para os valores a serem utilizados na análise multicritério. Essas matrizes são mostradas nos quadros 6.3 e 6.4, respectivamente.

QUADRO 6.3 – Matriz de Conseqüências para o estudo de caso da área de Goiânia.

Alternativa/Indicador	I _o	I _{H1}	I _{H2}	I _{S1}	I _{S2}	I _{Q1}	I _{Q2}	I _{A1}	I _{A2}	I _{SC1}	I _{SC2}	I _{SC3}	I _{SC4}
I- Sistema Clássico	1,0	0,57	-0,83	I	I	PP	I	0,0	I	0,0	I	I	0,0
II- Com controle centralizado	1,0	1,00	-0,83	PP	PP	PM	I	0,0	PM	0,0	I	I	0,0
III- Com controle nas parcelas	1,0	1,00	-0,83	I	I	PM	I	0,0	I	0,0	I	PM	-1,0

QUADRO 6.4 – Matriz de Conseqüências para o estudo de caso da área de Goiânia, com a escala corrigida.

Alternativa/Indicador	I _o	I _{H1}	I _{H2}	I _{S1}	I _{S2}	I _{Q1}	I _{Q2}	I _{A1}	I _{A2}	I _{SC1}	I _{SC2}	I _{SC3}	I _{SC4}
I- Sistema Clássico	7,00	5,71	1,51	4	4	3	4	4,00	4	4,00	4	4	4,00
II- Com controle centralizado	7,00	7,00	1,51	3	3	5	4	4,00	5	4,00	4	4	4,00
III- Com controle nas parcelas	7,00	7,00	1,51	4	4	5	4	4,00	4	4,00	4	5	1,00

6.2.4- Resultado da Programação de Compromisso

Com a Programação de Compromisso, o resultado da ordenação de alternativas pode ser verificado na Figura 6.5. Assim como para o caso anterior, esta análise foi realizada com os valores dos pesos procurando determinar a tendência dentre os quatro grupos de especialistas.

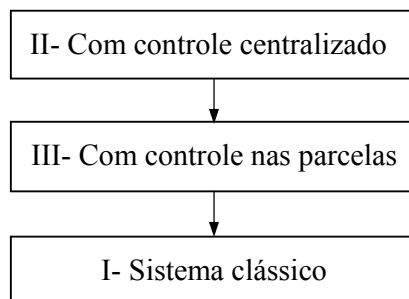


FIGURA 6.5 – Ordenação de Alternativas para o caso de Goiânia segundo a Programação de Compromisso.

6.2.5- Resultados do Electre III

Para a análise conforme o Electre III, a ordenação de alternativas resultante pode ser observada na Figura 6.6, determinada com a utilização da tendência de pesos entre os quatro grupos de especialistas.

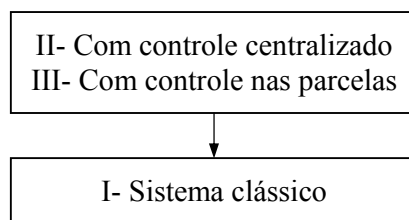


FIGURA 6.6 – Ordenação de Alternativas para o caso de Goiânia segundo o Electre III.

6.3- Loteamento “Vivendas de Santa Mônica”

6.3.1- Caracterização do empreendimento

Esta área corresponde a um loteamento no município de Igarapé, Região Metropolitana de Belo Horizonte. Conforme Baptista *et al.* (1998), o loteamento “Vivendas de Santa Mônica” abrange uma área total de 71,53ha, com a previsão de implantação de 430 lotes com área média de 1.000m². A Figura 6.7 apresenta a localização do loteamento em relação à Região Metropolitana de Belo Horizonte.

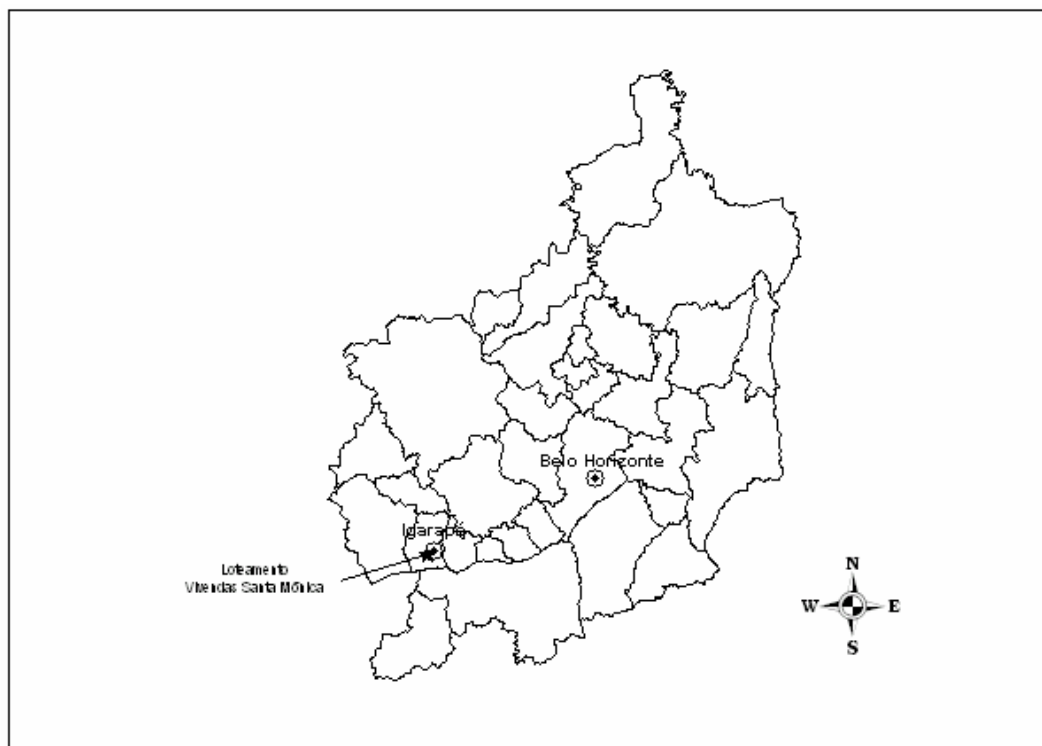


FIGURA 6.7 – Localização do Loteamento Vivendas Santa Mônica na Região Metropolitana de Belo Horizonte

A região faz parte da bacia hidrográfica do ribeirão Serra Azul, um afluente do rio Juatuba, pertencendo à bacia hidrográfica do rio Paraopeba. A área corresponde a uma encosta suave da Serra do Itatiaiuçu e possui solos predominantemente argilo-arenosos com elevada permeabilidade.

A região, à época da realização do projeto em questão, encontrava-se de forma natural, sem a presença de urbanização. Sendo assim, foram contratados dois projetos para a drenagem da área. O primeiro, realizado por Costa Filho (1996), previu sistemas clássicos de drenagem urbana, com a utilização de sarjetas em concreto, conduzindo as águas superficiais até as bocas de lobo. Posteriormente, o segundo arranjo de projeto, idealizado por Baptista *et al.* (1997), adotou técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana, baseando-se principalmente em estruturas de infiltração, com o intuito inicial de uma melhor inserção ambiental do sistema de drenagem à área do loteamento.

Este empreendimento foi escolhido para a aplicação como estudo de caso, por se tratar da comparação de dois arranjos de projeto diversos, com a utilização de sistema clássico e alternativo, este prevendo a infiltração de parte das águas pluviais.

6.3.2- Alternativas de projeto

Na análise realizada pelos empreendedores deste projeto para a definição da melhor alternativa de projeto, foram estudadas duas opções de projeto possíveis para a área em

questão. Para o presente trabalho, com a utilização dos indicadores propostos como forma de comparação de alternativas de projeto, foram considerados dois arranjos projetados, sendo eles:

- Cenário I – Sistema clássico, com a previsão de sarjetas em concreto conduzindo as águas pluviais superficiais até as bocas de lobo;
- Cenário II - Sistema alternativo, com a previsão de estruturas de infiltração como trincheiras, de forma a reduzir o volume de escoamento superficial.

a) Cenário I

Este cenário foi previsto com a utilização de técnicas convencionais de drenagem urbana, direcionando toda a água pluvial escoada para jusante o mais rapidamente possível. No projeto desenvolvido, as águas pluviais seriam coletadas pelas sarjetas, no sentido longitudinal das vias e conduzidas até as bocas de lobo. As bocas de lobo, por sua vez, teriam a finalidade de recolher as águas e, por meio de condutos de ligação, levá-las às galerias subterrâneas, até o escoamento para jusante da área.

O projeto realizado determinou a adoção do tempo de retorno de 2 anos como recomendado, segundo Costa Filho (1996), para o qual a vazão máxima de jusante seria de 2,994m³/s. Esta, em comparação com a vazão de jusante para a área em seu estado natural, de 2,384m³/s seria bastante superior, demonstrando aí os efeitos da urbanização e do sistema clássico de drenagem urbana.

Este cenário, como característica básica dos sistemas clássicos de drenagem urbana, não previu a incorporação de áreas de recreação e lazer, bem como novas áreas de preservação de habitats.

c) Cenário II

O segundo cenário de projeto manteve a localização dos lotes e dos equipamentos urbanos conforme o projeto de urbanização inicialmente realizado. No entanto, este cenário, desenvolvido por Baptista *et al.* (1997), teve como premissa básica o aproveitamento das características do solo local, favorecendo a infiltração e minimizando os volumes de escoamento superficial. Este arranjo previu, ainda, a utilização de talvegues naturais para o escoamento das águas superficiais, reduzindo ao máximo as intervenções realizadas. Desta forma, foi determinada uma melhor inserção ambiental do sistema de drenagem à área do loteamento.

A infiltração das águas pluviais foi prevista em estruturas como trincheiras, de dois tipos. A trincheira de tipo A foi prevista em uma extensão de cerca de 3.510m, largura de 40cm e profundidade de 45cm. A trincheira tipo B, com extensão total de 440m, foi dimensionada com largura de 40cm e profundidade de 90cm. O projeto realizado adotou, como parâmetro de cálculo, uma taxa de infiltração de 50mm/h, valor este sensivelmente inferior ao determinado pelos ensaios de infiltração efetuados na área, de 100mm/h, em função de fatores de segurança, comparação com a bibliografia existente (Urbonas e Stahre, 1993 e Azzout *et al.* 1994) e da possível colmatação das superfícies de infiltração ao longo do tempo. Além disso, o dimensionamento realizado de acordo

com a metodologia proposta na bibliografia consultada desprezou a infiltração no fundo e adotou apenas metade da altura da trincheira como superfície de infiltração.

Sendo assim, por meio dos cálculos realizados, a vazão escoada a jusante foi reduzida para o valor de $1,513\text{m}^3/\text{s}$ para o tempo de retorno adotado de 2 anos. Este valor, em função do acréscimo de infiltração proporcionado pelo projeto, foi inferior à vazão de jusante para a área em seu estado natural, calculada como $2,384\text{m}^3/\text{s}$.

Esta alternativa de projeto mostrou ganhos no sentido do aumento da recarga do aquífero e da conseqüente redução das vazões escoadas a jusante. Outro benefício deste arranjo foi a melhor inserção do sistema de drenagem na área do loteamento, proporcionando menores impactos em sua implantação.

6.3.3- Matriz de conseqüências

Nos quadros 6.5 e 6.6 são apresentadas, respectivamente, as duas matrizes de conseqüências calculadas para os dois cenários de projeto utilizando os indicadores propostos e com a escala corrigida.

QUADRO 6.5 – Matriz de Conseqüências para o estudo de caso do loteamento “Vivendas de Santa Mônica”.

Alternativa/Indicador	I _o	I _{H1}	I _{H2}	I _{S1}	I _{S2}	I _{Q1}	I _{Q2}	I _{A1}	I _{A2}	I _{SC1}	I _{SC2}	I _{SC3}	I _{SC4}
I- Sistema Clássico	1,0	0,80	-0,09	I	I	I	I	0,00	I	0,0	I	I	0,0
II- Com estruturas de infiltração	1,0	1,00	0,13	I	I	I	PM	0,02	PM	0,0	I	SM	0,0

QUADRO 6.6 – Matriz de Conseqüências para o estudo de caso do loteamento “Vivendas de Santa Mônica”, com a escala corrigida.

Alternativa/Indicador	I _o	I _{H1}	I _{H2}	I _{S1}	I _{S2}	I _{Q1}	I _{Q2}	I _{A1}	I _{A2}	I _{SC1}	I _{SC2}	I _{SC3}	I _{SC4}
I- Sistema Clássico	7,00	6,40	3,73	4	4	4	4	4,00	4	4,00	4	4	4,00
II- Com estruturas de infiltração	7,00	7,00	4,39	4	4	4	5	4,06	5	4,00	4	6	4,00

6.3.4- Resultado e análise da comparação de alternativas de projeto

O estudo de caso em questão aplicou os indicadores propostos de forma a comparar as duas alternativas de projeto estudadas para o loteamento “Vivendas de Santa Mônica”. Esta aplicação demonstrou que, para todos os indicadores analisados, o cenário II se mostrou melhor ou igual ao cenário I. Sendo assim, não foi necessária a utilização dos métodos de análise multicritério, uma vez que não havia como ser alterada a ordenação das alternativas em função deles.

A ordenação das alternativas, desta forma, deu-se em função dos grandes benefícios causados pela utilização das trincheiras de infiltração, sem prejuízos para a área. Os principais benefícios foram:

- Redução dos volumes escoados a jusante e, conseqüentemente, das vazões de pico;
- Aumento dos volumes de água infiltrados no solo, proporcionando a recarga dos aquíferos;
- Melhor inserção ambiental das estruturas de infiltração no ambiente natural;
- Contribuição das estruturas de infiltração ao equilíbrio do ecossistema em função da alimentação das raízes dos vegetais e, conseqüentemente, protegendo os terrenos contra a erosão;
- Melhoria da qualidade das águas que contribuirão para a recarga dos aquíferos, em função da depuração existente nas trincheiras de infiltração.

Além dos benefícios causados, previu-se que não haveria prejuízos para a área em comparação com o cenário I, que previa a utilização de sistemas clássicos de drenagem urbana. Quanto a impactos sanitários, não foi determinado aumento na possibilidade de transmissão de doenças ou proliferação de insetos por nenhuma das alternativas. Nenhum dos cenários propostos previu a criação de áreas de recreação, lazer e equipamentos urbanos, os quais não proporcionariam prejuízos para as condições de circulação da área. Em relação à criação e preservação de habitats, o cenário I não previa modificação alguma, mas o cenário II determinou a recuperação de um talvegue com largura de 5m e extensão de 600m, de forma a permitir o escoamento adequado das vazões de jusante.

É importante ressaltar, ainda, que segundo Baptista *et al.* (1998), a implantação do cenário II determinaria a economia de cerca de 35% no custo da obra em relação ao cenário I. Essa economia é bastante significativa, considerando ser os gastos com a obra de drenagem importantes em comparação com os gastos referentes à implantação do loteamento como um todo. Sendo assim, no momento da escolha realizada em 1998, a análise técnica e econômica determinou a implantação do sistema de drenagem segundo o cenário II.

Para o estudo de caso em questão, a aplicação dos indicadores propostos determinou, de forma clara e conclusiva, a definição do cenário II, como melhor alternativa de projeto para a drenagem do loteamento. Esta análise acompanhou as análises técnica e econômica realizadas anteriormente e a posterior implantação do cenário de projeto II.

7- ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1- Análises de Sensibilidade e Robustez

Segundo Azzout (1996), a análise de sensibilidade, indispensável à finalização do trabalho de análise multicritério, permite aos diferentes atores do processo decisório fazer valer o seu ponto de vista (no caso de divergências) e sobretudo verificar o seu impacto no resultado final. Ela tem a finalidade de verificar a instabilidade da classificação proposta, principalmente das primeiras posições dentre as alternativas, em função de diferentes parâmetros. A análise de sensibilidade consiste em realizar as análises multicritério variando determinados parâmetros e verificando quais são os mais sensíveis e que condicionam a classificação final.

Os parâmetros a serem variados são aqueles cujos valores não se tem certeza absoluta ou podem ser objeto de contestação por determinados decisores. Os principais parâmetros possíveis de serem variados são:

- As avaliações de determinadas alternativas em alguns critérios;
- Os pesos de alguns critérios;
- Os limiares de indiferença, preferência e veto, no caso do Electre III.

A análise de robustez procura determinar o domínio de variação de determinados parâmetros que não modifiquem as primeiras colocações da ordenação inicial. Esta ordenação é chamada de solução de base. A análise de robustez permite ao decisor verificar a capacidade da solução de base de resistir a determinadas modificações. Os parâmetros a serem variados nesta análise são os mesmos referentes à análise de sensibilidade.

As análises foram realizadas para cada estudo de caso e por método de análise multicritério, de forma a facilitar o entendimento do trabalho. Objetivando facilitar a visualização dos resultados, nas tabelas 7.1 a 7.18 as ordenações em negrito são as diferentes da solução de base.

7.1.1- Technopolis (Bordeaux – França)

a) Programação de Compromisso

A análise realizada tomou como base a alternativa melhor classificada segundo a solução de base, a IV-100. A primeira etapa da análise buscou reduzir os pesos dos indicadores para os quais os valores desta alternativa eram os maiores que os da alternativa III-100, que havia ficado em segundo lugar. Estes indicadores foram:

- I_{H2} : Indicador de impacto hidrológico na recarga do aquífero;
- I_{Q2} : Indicador de impacto na qualidade das águas subterrâneas;

Para cada um desses indicadores foram reduzidos os seus pesos em um a dois pontos, de forma alternada. Não foram realizadas alterações simultâneas nos valores de dois ou mais indicadores, pois poderiam indicar uma avaliação excessivamente incerta nos

valores utilizados na análise inicial. Os resultados das análises realizadas são listados na Tabela 7.1, apenas para as cinco alternativas melhor classificadas.

Indicador variado	Ordenação									
	Redução de 1 ponto no peso do indicador					Redução de 2 pontos no peso do indicador				
I _{H2}	IV-100	III-100	II-100	III-10	IV-10	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10
I _{Q2}	IV-100	III-100	II-100	III-10	IV-10	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10

TABELA 7.1 – Redução de um ou dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa IV-100 era melhor que a III-100.

Na segunda parte da análise realizada, procurou-se observar os indicadores para os quais a alternativa III-100 (segunda colocada na solução de base) tinha valores melhores que a IV-100. Isso ocorreu apenas para o indicador I_{Q1} – indicador de impacto na qualidade das águas superficiais. Sendo assim, o peso deste indicador foi acrescido de um a dois pontos de forma a permitir verificar possíveis mudanças na ordenação de alternativas. O resultado está listado na Tabela 7.2.

Indicador variado	Ordenação									
	Aumento de 1 ponto no peso do indicador					Aumento de 2 pontos no peso do indicador				
I _{Q1}	IV-100	III-100	II-100	III-10	IV-10	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10

TABELA 7.2 – Aumento de um ou dois pontos no peso do indicador em que a alternativa III-100 era melhor que a IV-100.

A análise das tabelas 7.1 e 7.2 mostra que, para a alteração de um ponto nos pesos dos indicadores a ordem das duas primeiras alternativas não se altera. No entanto, alterando-se dois pontos, em todos os testes, a ordem destas duas alternativas se modificou. Esse resultado mostra a necessidade de que os pesos dos indicadores sejam coerentes, de forma a dar precisão e certeza à ordenação de alternativas.

Na terceira etapa desta análise, procurou-se alterar os valores de todos indicadores para os quais a alternativa IV-100 era a melhor classificada. Os seus valores foram reduzidos em um ou dois pontos no caso dos indicadores de análise subjetiva e 10 a 20% para os indicadores cujo cálculo foi realizado por meio de expressões matemáticas. Os resultados obtidos estão listados na Tabela 7.3.

Indicador variado	Ordenação									
	Redução de 1 ponto ou 10% nos valores dos indicadores para a alternativa IV-100					Redução de 2 pontos ou 20% nos valores dos indicadores para a alternativa IV-100				
I _{H2}	IV-100	III-100	II-100	III-10	IV-10	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10
I _{Q2}	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10	III-100	II-100	IV-100	III-10	IV-10
I _{A1}	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10
I _{A2}	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10
I _{SC2}	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10
I _{SC3}	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10

TABELA 7.3 – Redução de um a dois pontos ou 10 a 20% nos valores dos indicadores em que a alternativa IV-100 era a melhor classificada.

A última etapa desta análise visou ao aumento de 0,5 a um ponto no valor do indicador I_{Q1} , que foi o único em que a alternativa III-100 era melhor que a alternativa IV-100. O acréscimo máximo foi de um ponto pois sua avaliação era de 6 e o máximo na escala dos indicadores é de 7. O resultado está na Tabela 7.4.

Indicador variado	Ordenação									
	Aumento de 0,5 ponto no peso do indicador					Aumento de 1 ponto no peso do indicador				
I_{Q1}	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10	III-100	IV-100	II-100	III-10	IV-10

TABELA 7.4 – Aumento de 0,5 ou um ponto no valor do indicador em que a alternativa III-100 era melhor que a IV-100.

Ao analisar os resultados constantes nas tabelas 7.3 e 7.4, verifica-se ser a solução de base bastante sensível a pequenas modificações nos valores dos indicadores. Em quase todos os casos a alteração de apenas um ponto nos valores dos indicadores resultou em modificação na ordenação entre as duas primeiras alternativas, demonstrando não haver uma relação clara de sobre-classificação da alternativa III-100 pela IV-100. Isso mostra ainda a necessidade de uma grande precisão na obtenção dos valores dos indicadores de forma a permitir ordenar mais claramente as alternativas.

b) Electre III

A solução de base dada como resultado da utilização da análise multicritério por meio do Electre III apresentou duas alternativas empatadas em primeiro lugar, sendo elas a III-100 e a IV-100. Estas alternativas revezaram-se entre os dois primeiros lugares na análise de sensibilidade e robustez realizada por meio da Programação de Compromisso. Sendo assim, procurar-se-á verificar estas duas alternativas reduzindo, em um primeiro momento, os pesos dos dois indicadores em que a alternativa IV-100 era melhor que a III-100, em um a dois pontos. Estes indicadores foram I_{H2} e I_{Q2} . Os resultados são listados na Tabela 7.5.

Indicador variado	Ordenação							
	Redução de 1 ponto no peso do indicador			Redução de 2 pontos no peso do indicador				
I_{H2}	III- 100 e IV-100		III-30 e IV-30		III-100	IV-100	III-30 e IV-30	II-100
I_{Q2}	III-100	IV-100	II-100/ III-30 e IV-30		III-100	IV-100	III-30	III-10 e IV-30

TABELA 7.5 – Redução de um ou dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa IV-100 era melhor que a III-100.

Logo após, procurou-se reduzir um a dois pontos no peso do único indicador em que a alternativa III-100 era melhor que a IV-100. Este indicador é o I_{Q1} – indicador de impacto na qualidade das águas escoadas a jusante. As ordenações resultantes destes testes estão listadas na Tabela 7.6.

Indicador variado	Ordenação						
	Redução de 1 ponto no peso do indicador			Redução de 2 pontos no peso do indicador			
I _{Q1}	III-100 e IV-100		IV-30 e III-30	IV-100	III-100	IV-30	III-30

TABELA 7.6 – Redução de um ou dois pontos no peso do indicador em que a alternativa III-100 era melhor que a IV-100.

Analisando as tabelas 7.5 e 7.6, verifica-se que a solução de base é bastante sensível a pequenas modificações nos pesos dos indicadores. Para modificações de um ponto nos pesos dos indicadores a ordem das duas primeiras colocadas se alterou em quase todas os testes. Isso demonstra, mais uma vez, não haver uma relação clara de sobre-classificação dentre as duas primeiras alternativas.

A próxima etapa da análise visou à verificação da solução de base frente a pequenas modificações nos valores dos indicadores. Sendo assim, foram testados os indicadores para os quais as alternativas III-100 e IV-100 possuíam os maiores valores. Primeiro, foram reduzidos em um a dois pontos os valores dos indicadores de análise subjetiva e 10 a 20% os valores dos indicadores obtidos por meio de expressões de cálculo para a alternativa III-100, sempre de forma alternada. Os resultados destes testes estão listados na Tabela 7.7. Posteriormente, foram reduzidos da mesma forma os valores dos indicadores em que a alternativa IV-100 apresentava maiores valores. Os resultados desta análise estão listados na Tabela 7.8.

Indicador variado	Ordenação					
	Redução de 1 ponto ou 10% nos valores dos indicadores para a alternativa III-100			Redução de 2 pontos ou 20% nos valores dos indicadores para a alternativa III-100		
I _{Q1}	IV-100	III-100	III-30 e IV-30	IV-100	III-100, III-30 e IV-30	
I _{A1}	III-100 e IV-100		III-30 e IV-30	IV-100	III-100	III-30 e IV-30
I _{A2}	III-100 e IV-100		III-30 e IV-30	IV-100	III-100	III-30 e IV-30
I _{SC2}	III-100 e IV-100		III-30 e IV-30	IV-100	III-100	III-30 e IV-30
I _{SC3}	III-100 e IV-100		III-30 e IV-30	IV-100	III-100	III-30 e IV-30

TABELA 7.7 – Redução de um a dois pontos ou 10 a 20% nos valores dos indicadores em que a alternativa III-100 era a melhor classificada.

Indicador variado	Ordenação					
	Redução de 1 ponto ou 10% nos valores dos indicadores para a alternativa IV-100			Redução de 2 pontos ou 20% nos valores dos indicadores para a alternativa IV-100		
I _{H2}	III-100 e IV-100		III-30 e IV-30	III-100	IV-100	III-30 e IV-30
I _{Q2}	III-100	IV-100	III-30 e IV-30	III-100	IV-100, III-30 e IV-30	
I _{A1}	III-100 e IV-100		III-30 e IV-30	III-100	IV-100	III-30 e IV-30
I _{A2}	III-100	IV-100	III-30 e IV-30	III-100	IV-100	III-30 e IV-30
I _{SC2}	III-100	IV-100	III-30 e IV-30	III-100	IV-100	III-30 e IV-30
I _{SC3}	III-100	IV-100	III-30 e IV-30	III-100	IV-100	III-30 e IV-30

TABELA 7.8 – Redução de um a dois pontos ou 10 a 20% nos valores dos indicadores em que a alternativa IV-100 era a melhor classificada.

Ao analisar as tabelas 7.7 e 7.8, verifica-se, mais uma vez, ser a solução de base sensível a pequenas mudanças nos valores dos indicadores. Para reduções de apenas um

ponto ou 10% nos valores dos indicadores a alternativa cuja nota foi modificada perdeu a primeira posição em grande parte dos casos.

Por último, a análise visou alterar os valores arbitrados para os limiares de indiferença e preferência. Supondo uma redução na precisão de cálculo dos valores dos indicadores, os limiares de indiferença foram acrescidos da seguinte forma:

- No caso dos indicadores de análise subjetiva, alterados de 0 para 1;
- Para os indicadores I_{H1} e I_{H2} , alterados de 10 para 20%;
- Para os indicadores I_{A1} e I_{SC1} , alterados de 5 para 10%.

Todas estas alterações foram realizadas de forma simultânea. O resultado dessas modificações mostrou a manutenção da solução de base, apesar do aumento dos limiares de indiferença, o que normalmente colocaria um maior número de alternativas na mesma posição.

Posteriormente, retornando os limiares de indiferença à situação inicial, testaram-se os limiares de preferência reduzindo seus valores, supondo o aumento na precisão de cálculo dos indicadores. Os limiares de preferência foram alterados da seguinte forma:

- Para os indicadores de análise subjetiva, reduzidos de 2 para 1;
- No caso dos indicadores I_{H1} e I_{H2} , reduzidos de 50 para 40%;
- No caso dos indicadores I_{A1} e I_{SC1} , reduzidos de 40 para 30%.

Estas alterações foram realizadas de forma simultânea. Como resultado, foi mantida a solução de base apesar da redução dos limiares normalmente gerar a sobre-classificação de alternativas que se encontravam incomparáveis.

7.1.2- Região da cidade de Goiânia-GO

a) Programação de Compromisso

Para a análise de sensibilidade e robustez da solução de base, tomou-se como base a melhor alternativa segundo a ordenação dada. Sendo assim, a primeira etapa desta análise procurou variar os pesos obtidos para os indicadores em que a alternativa II, tivesse o maior valor. Estes indicadores foram: I_{H1} (Indicador de impacto hidrológico sobre as vazões de jusante); I_{Q1} (Indicador de impacto na qualidade das águas superficiais); I_{A2} (Indicador de impacto paisagístico) e I_{SC4} (Indicador de desapropriação de áreas). Os pesos desses indicadores foram reduzidos em um a dois pontos, sendo apenas um de cada vez, não havendo alterações simultâneas de dois ou mais indicadores na mesma análise. Alterações simultâneas de dois ou mais indicadores poderiam indicar uma avaliação excessivamente incerta nos valores utilizados na análise inicial. Os resultados destas análises são mostrados na Tabela 7.9.

Indicador variado	Ordenação					
	Redução de 1 ponto no peso do indicador			Redução de 2 pontos no peso do indicador		
I _{H1}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I _{Q1}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I _{A2}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I _{SC4}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico

TABELA 7.9 – Redução de um a dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa II era a melhor classificada.

Na segunda etapa da análise, procurou-se aumentar os pesos dos indicadores em que a alternativa III fosse melhor. Sendo assim, os pesos dos indicadores I_{S1} – indicador de possibilidade de transmissão de doenças, I_{S2} – indicador de possibilidade de proliferação de insetos e I_{SC3} – indicador de possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas, foram acrescidos de um a dois pontos de forma alternada, sempre mantendo os outros constantes. Os resultados dessa análise estão listados na Tabela 7.10.

Indicador variado	Ordenação					
	Aumento de 1 ponto no peso do indicador			Aumento de 2 pontos no peso do indicador		
I _{S1}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I _{S2}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I _{SC3}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico

TABELA 7.10 – Aumento de um a dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa III era melhor que a II.

Observando as tabelas 7.9 e 7.10, verifica-se que não houve modificação alguma na ordenação das alternativas com a redução ou o aumento dos pesos dos indicadores testados. Isso demonstra a robustez da solução de base frente a pequenas modificações nos pesos dos indicadores.

Na terceira etapa desta análise, as variações foram para os valores calculados para os indicadores em que a alternativa II fosse a melhor classificada. Estes valores foram reduzidos de um a dois pontos no caso dos indicadores de análise subjetiva e de 10 a 20% para os indicadores calculados por meio de expressões matemáticas. Assim como a análise anterior, estas modificações foram realizadas apenas para um indicador de cada vez. Os resultados destas modificações estão listados na Tabela 7.11.

Indicador variado	Ordenação					
	Redução de 1 ponto ou 10% nos valores dos indicadores para a alternativa II			Redução de 2 pontos ou 20% nos valores dos indicadores para a alternativa II		
I _{H1}	III- controle nas parcelas	II- controle centralizado	I- Sistema clássico	III- controle nas parcelas	II- controle centralizado	I- Sistema clássico
I _{Q1}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	III- controle nas parcelas	II- controle centralizado	I- Sistema clássico
I _{A2}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I _{SC4}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico

TABELA 7.11 – Redução de um a dois pontos ou 10 a 20% nos valores dos indicadores em que a alternativa II era a melhor classificada.

Analisando os dados constantes na Tabela 7.11 observa-se que, para uma redução de um ponto ou 10% nos valores dos indicadores em que a alternativa II era a melhor, apenas o indicador I_{H1}, de impacto hidrológico sobre as vazões de jusante, modificou a ordenação das alternativas. A redução de dois pontos ou 20% nos valores dos indicadores supracitados modificou a ordenação das alternativas no caso dos indicadores I_{H1} e I_{Q1}. Isso demonstra que para estes indicadores deve ser buscada uma maior precisão na definição ou cálculo dos seus valores para cada alternativa pois, pequenas modificações nos seus valores alterariam a ordem das duas primeiras alternativas.

A última análise realizada referiu-se aos valores dos indicadores para os quais a alternativa III era melhor que a II. Estes valores foram acrescidos de um ou dois pontos de forma a permitir verificar possíveis mudanças na ordenação de alternativas. Os resultados são listados na Tabela 7.12.

Indicador variado	Ordenação					
	Aumento de 1 ponto nos valores dos indicadores para a alternativa III			Aumento de 2 pontos nos valores dos indicadores para a alternativa III		
I _{S1}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I _{S2}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I _{SC3}	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	III- controle nas parcelas	II- controle centralizado	I- Sistema clássico

TABELA 7.12 – Aumento de um a dois pontos nos valores dos indicadores em que a alternativa III era melhor que a II.

A análise da Tabela 7.12 mostra que apenas o aumento de dois pontos no valor indicador I_{SC3} para a alternativa III poderia alterar a solução de base. Sendo assim, a solução de base mostra-se mais uma vez pouco sensível a pequenas modificações nos valores dos indicadores utilizados na análise.

b) Electre III

Uma vez que a ordenação das alternativas segundo as duas metodologias mostrou pequenas diferenças, a análise de sensibilidade e robustez foi realizada de forma separada. No entanto, os procedimentos utilizados foram semelhantes.

Como a ordenação dada pela solução de base determinou a igualdade entre as alternativas II e III, a primeira parte da análise procurou reduzir os pesos dos indicadores em que a alternativa III tivesse valores maiores que a alternativa II. Os indicadores variados foram: I_{S1} – indicador sanitário referente à possibilidade de transmissão de doenças, I_{S2} – indicador sanitário referente à possibilidade de proliferação de insetos e I_{SC3} – indicador de possibilidade da utilização do sistema para o desempenho de outras funções técnicas. Os pesos destes indicadores foram reduzidos em um a dois pontos, de forma alternada. Os resultados são listados na Tabela 7.13. O mesmo procedimento foi realizado para os indicadores em que a alternativa II havia obtido melhores resultados que a III, ou seja, os pesos dos indicadores I_{A2} e I_{SC4} foram reduzidos de um a dois pontos de forma alternada. Os resultados desta simulação estão na Tabela 7.14.

Indicador variado	Ordenação			
	Redução de 1 ponto no peso do indicador		Redução de 2 pontos no peso do indicador	
I_{S1}	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I_{S2}	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I_{SC3}	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico

TABELA 7.13 – Redução de um a dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa III era melhor classificada que a II.

Indicador variado	Ordenação			
	Redução de 1 ponto no peso do indicador		Redução de 2 pontos no peso do indicador	
I_{A2}	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I_{SC4}	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico

TABELA 7.14 – Redução de um a dois pontos nos pesos dos indicadores em que a alternativa II era melhor classificada que a III.

Ao analisar as tabelas 7.13 e 7.14, verifica-se ser a solução de base neste caso pouco sensível a modificações nos pesos dos indicadores. A modificação de até dois pontos nos pesos dos indicadores não modificou a ordenação das alternativas em hipótese alguma. Em todos os casos as alternativas II e III mantiveram-se na mesma posição, não podendo ser determinada a melhor dentre as duas.

Na próxima etapa da análise, as alterações realizadas foram nos valores dos indicadores. Os valores dos indicadores em que a alternativa III era melhor que a II foram reduzidos em um a dois pontos. O mesmo procedimento deu-se para os indicadores em que a alternativa II era melhor que a III. Os resultados estão listados nas tabelas 7.15 e 7.16.

Indicador variado	Ordenação				
	Redução de 1 ponto no valor do indicador para a alternativa III		Redução de 2 pontos no valor do indicador para a alternativa III		
I _{S1}	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I _{S2}	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
I _{SC3}	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	II- controle centralizado III- controle nas parcelas		I- Sistema clássico

TABELA 7.15 – Redução de um a dois pontos nos valores dos indicadores em que a alternativa III era melhor classificada que a II.

Indicador variado	Ordenação				
	Redução de 1 ponto no valor do indicador para a alternativa II		Redução de 2 pontos no valor do indicador para a alternativa II		
I _{A2}	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	III- controle nas parcelas	II- controle centralizado	I- Sistema clássico
I _{SC4}	II- controle centralizado III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico	III- controle nas parcelas	II- controle centralizado	I- Sistema clássico

TABELA 7.16 – Redução de um a dois pontos nos valores dos indicadores em que a alternativa II era melhor classificada que a III.

Por meio das tabelas 7.15 e 7.16, verifica-se que, para a redução de apenas um ponto nos valores dos indicadores testados, a solução de base não foi alterada. No entanto, em quase todos os casos, a redução de dois pontos nos valores dos indicadores das alternativas II ou III, fizeram com que ela perdesse a primeira colocação. Isso mostra a importância na obtenção dos valores dos indicadores, pois pequenas alterações em seus valores podem alterar a solução de base.

A última análise realizada deu-se em relação aos valores arbitrados para os limiares de indiferença e preferência. Estes limiares foram alterados apenas para os indicadores em que havia diferenças nos valores calculados entre as alternativas. No primeiro momento, supondo uma redução na precisão de cálculo dos valores dos indicadores, os limiares de indiferença para os indicadores de análise subjetiva foram alterados de 0 para 1 e para o indicador I_{H1} alterado de 10 para 20%. Estas alterações foram realizadas de forma simultânea. Esta modificação deveria ter agrupado as três alternativas. No entanto, como a alternativa I, prevendo a implantação do sistema clássico de drenagem urbana estava em um nível bastante inferior, a solução de base foi mantida.

Posteriormente, retornando os limiares de indiferença para a situação inicial, supôs-se o aumento na precisão de cálculo dos indicadores e reduziram-se os limiares de preferência dos indicadores de análise subjetiva de 2 para 1 e do indicador I_{H1} de 50 para 40%. Esta análise determinou como resultado a separação das alternativas II e III,

colocando a III em primeiro. Sendo assim, verifica-se que, obtendo uma maior precisão no cálculo do valor dos indicadores, poder-se-ia determinar com maior clareza a melhor das alternativas.

7.2- Comparação de Decisores

Conforme apresentado anteriormente, os pesos utilizados para a análise multicritério foram obtidos por meio da análise da tendência observada entre as avaliações de quatro grupos de decisores formados por especialistas no domínio da drenagem urbana. Entretanto, observando os valores obtidos para cada um dos grupos, podem ser percebidas algumas diferenças que poderiam influenciar a ordenação das alternativas. Sendo assim procedeu-se novamente à análise multicritério com os pesos adotados para cada grupo de especialistas.

7.2.1- Technopolis (Bordeaux – França)

Neste caso, o resultado da análise está listado na Tabela 7.17.

Grupo decisor	Método de Análise	Ordenação de alternativas				
Projetistas	Programação de Compromisso	IV-100	III-100	II-100	IV-10	III-10
	Electre III	IV-100	III-10, III-100, IV-10 e IV-30			
Gestores ambientais	Programação de Compromisso	III-10	IV-10	II-100	III-100	IV-100
	Electre III	III-10 e III-100		III-30, IV-10 e IV-100		
Gestores municipais	Programação de Compromisso	IV-100	III-100	II-100	IV-30	III-30
	Electre III	III-100 e IV-100		II-100	IV-30 e III-30	
Pesquisadores	Programação de Compromisso	IV-100	III-100	II-100	IV-30	IV-10
	Electre III	IV-100	III-100	II-100, III-30 e IV-30		

TABELA 7.17 – Comparação de decisores para o caso de Technopolis.

Por meio dos resultados da Tabela 7.17 e analisando os pesos dados pelos especialistas para os indicadores, podem ser verificadas algumas questões importantes referentes às ordenações dadas por cada grupo de especialistas. Em primeiro lugar, verificou-se que, apesar de nenhuma das ordenações ter acompanhado a solução de base, as modificações não foram bastante sensíveis, mantendo-se quase sempre as alternativas IV-100 e III-100 nos dois primeiros lugares.

Comparando as duas classificações dadas por cada grupo decisor com a utilização dos dois métodos, verificam-se poucas diferenças. A principal diferença entre eles é o fato de existir o princípio da incomparabilidade de ações no Electre III, mostrando às vezes duas alternativas empatadas na mesma posição. Na Programação de Compromisso, por menores que sejam as diferenças, as duas ações são sempre ordenadas.

Na análise dos projetistas por meio do Electre III, a alternativa IV-100 sobre classificou a alternativa III-100 e as outras que ficaram juntas em segundo lugar, em função da alta pontuação dada ao indicador I_{Q2} , de impacto na qualidade das águas subterrâneas. Para este indicador a avaliação da alternativa IV-100 obteve o maior valor dentre todas as alternativas.

No caso dos gestores ambientais, a alternativa III-10 em primeiro lugar deve ter se dado em função da pequena pontuação dada ao Indicador de atendimento ao objetivo, I_O , juntamente com a alta pontuação dada ao Indicador I_{SC4} , de desapropriação de áreas. Este pode ter tido alta pontuação em função da experiência destes gestores ambientais na negociação de desapropriação de áreas que pode ser por diversas vezes difícil e cansativa.

Quanto ao gestor municipal, que contou com apenas uma resposta ao questionário, as classificações dadas se aproximaram das soluções de base, para os dois métodos. Em relação ao Electre III, a alternativa II-100 aproximou-se das duas primeiras em função da alta pontuação dada ao indicador I_O , de atendimento ao objetivo da obra.

E por último, observou-se que as classificações dadas pelos pesquisadores também se aproximaram da solução de base, com pequenas modificações como no caso do Electre III, a sobre classificação da alternativa III-100 pela IV-100. No caso do Programação de Compromisso observou-se a melhoria da classificação de todas as alternativas que visavam à infiltração, em função da alta pontuação dada ao indicador I_{H2} , de impacto hidrológico na recarga do aquífero.

7.2.2- Região da cidade de Goiânia-GO

Em relação ao estudo de caso de caso para a região urbanizada da cidade de Goiânia, os resultados da análise utilizando os pesos adotados por cada grupo decisor estão listados na Tabela 7.18.

Grupo decisor	Método de Análise	Ordenação de alternativas		
		II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
Projetistas	Programação de Compromisso	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
	Electre III	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
Gestores ambientais	Programação de Compromisso	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
	Electre III	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
Gestores municipais	Programação de Compromisso	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
	Electre III	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
Pesquisadores	Programação de Compromisso	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico
	Electre III	II- controle centralizado	III- controle nas parcelas	I- Sistema clássico

TABELA 7.18 – Comparação de decisores para o caso de Goiânia.

Analisando os resultados mostrados na Tabela 7.18 e comparando os pesos arbitrados para os indicadores pelos quatro grupos de especialistas verifica-se que as diferenças não foram importantes não influenciando muito na ordenação das alternativas.

Em relação ao método da Programação de compromisso, as análises realizadas com os pesos atribuídos por cada um dos quatro grupos de decisores não modificaram a ordenação final, mantendo em todos os casos a solução de base.

No caso do Electre III, em dois casos obtiveram-se pequenas mudanças na ordenação das alternativas. A solução de base determinava empate entre as alternativas II e III. Para os gestores ambientais, o indicador I_{SC4} , de desapropriação de áreas teve grande importância, talvez pelo seu conhecimento e experiência em discussões referentes a esse tema que são por diversas vezes muito difíceis. Em relação aos gestores municipais, foi dada pouca importância aos indicadores sanitários, o que determinou a sobre classificação da alternativa III pela II. É importante ressaltar que, em relação à análise de importância realizada pelos gestores municipais, obteve-se resposta de apenas um questionário. Sendo assim, suas respostas não puderam ser comparadas com as de outros especialistas, podendo não representar o pensamento de uma maioria.

7.3- Conclusões

As análises de sensibilidade e robustez realizadas foram de grande importância para a avaliação final da ordenação das alternativas. Em cada uma das análises foram testados diversos parâmetros, como os pesos e valores dos indicadores e, no caso do Electre III, os limiares arbitrados de indiferença e preferência. Destas análises algumas conclusões relevantes foram elaboradas.

Em todos os casos, as alternativas que previam a implantação de sistemas clássicos de drenagem urbana se mantiveram entre as últimas classificações. No caso de Technopolis, as três alternativas (I-10, I-30 e I-100) prevendo o sistema clássico não estiveram entre as cinco primeiras colocadas em nenhum dos testes realizados. Para a região urbanizada na cidade de Goiânia, em todos os testes realizados as alternativas II e III alternaram-se nas duas primeiras posições, mantendo a alternativa I, que previa a manutenção do sistema clássico, sempre em último lugar.

Em relação às primeiras colocações, no caso de Technopolis, as alternativas III-100 e IV-100 mantiveram-se sempre nos dois primeiros lugares. Apesar da solução de base dada pela Programação de Compromisso ter classificado a alternativa IV-100 em primeiro, em todos os testes realizados, pequenas modificações nos valores ou nos pesos dos indicadores faziam com que esta alternativa fosse ultrapassada pela III-100. No caso do Electre III, a solução de base determinou a incomparabilidade entre as alternativas III-100 e IV-100. Além disso, em quase todos os testes realizados, quando eram reduzidos pontos ou pesos de indicadores de uma das duas alternativas, ela era sobre classificada pela outra. Isso demonstrou uma grande igualdade entre elas, não havendo certeza para decidir entre uma ou outra. As duas alternativas previram a implantação de sistemas alternativos de drenagem, com o mesmo tempo de retorno de proteção de área, de 100 anos. A diferença principal das duas alternativas foi a previsão de estruturas de infiltração na IV-100. É importante ressaltar que a alternativa III-100 foi a escolhida e implantada nessa área, mas à época, não havia sido estudada a alternativa IV-100, que apresenta um cunho apenas teórico, com vistas a tratar uma maior gama de situações.

Para a região urbanizada de Goiânia, duas alternativas também revezaram-se nos dois primeiros lugares. As alternativas II e III previam, respectivamente, a implantação de bacias de retenção em praças existentes ou nos lotes. Apesar da alternativa II ter se mantido em primeiro lugar em quase todos os testes realizados por meio da Programação de Compromisso, as diferenças na avaliação das duas não variaram muito, estando sempre bem próximas ao compará-las com o vetor ideal. No caso do Electre III, a solução de base determinou as duas alternativas empatadas em primeiro lugar, incomparáveis. Além disso, a maior parte dos testes realizados, variando pesos ou valores dos indicadores, não determinou sobre classificação de uma em relação à outra. Apenas com a redução de dois pontos no valor de um indicador, a alternativa perdia sua posição. Assim como no caso de Technopolis, com a análise realizada não pôde ser determinada com certeza que uma das duas alternativas é melhor que a outra, mantendo-as empatadas.

8- CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A partir de um balanço crítico das diversas alternativas de projeto de sistemas de drenagem nas condições atuais, com a introdução de diversas alternativas aos sistemas clássicos, o presente trabalho propôs indicadores para a avaliação desses sistemas além de uma metodologia de análise multicritério. Desse trabalho algumas conclusões relevantes podem ser obtidas, conforme descrito no capítulo presente. Além disso, perspectivas foram abertas para a realização de novos trabalhos no domínio das técnicas alternativas de drenagem urbana, indicadores de performance e métodos de análise multicritério.

8.1- Indicadores propostos

A utilização de indicadores para a comparação de alternativas de projeto de sistemas de drenagem urbana mostrou-se útil, como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão. A ausência de outros estudos referentes ao desenvolvimento de indicadores no domínio da drenagem urbana tornou o trabalho mais complexo, mas ao mesmo tempo interessante e motivador.

Quanto aos indicadores propostos, algumas conclusões puderam ser observadas, principalmente por meio da sua aplicação nos estudos de caso.

O indicador I_o , de atendimento ao objetivo da obra, mostrou-se relevante apenas para os casos em que forem estudadas alternativas com tempos de retorno diferentes. Sendo assim, percebeu-se a necessidade do desenvolvimento de um novo indicador, talvez englobando o nível de atendimento, o risco de falha e a vulnerabilidade prevista em cada tipo de sistema. Além disso, percebeu-se a possibilidade da criação de um indicador que avalie a relação risco-benefício, verificando qual seria o risco assumido para a obtenção de determinados benefícios.

Os indicadores referentes aos impactos hidrológicos sobre as vazões de jusante e de recarga de aquífero mostraram-se úteis na comparação das alternativas. O indicador I_{H1} – referente aos impactos hidrológicos sobre as vazões de jusante – mostrou bom desempenho ao comparar os impactos do sistema proposto em relação a uma determinada vazão alvo. Essa vazão alvo, que pode ser determinada em função da legislação vigente ou da necessidade das áreas de jusante, deve ser buscada pelo sistema proposto. O indicador I_{H2} – referente aos impactos hidrológicos na recarga do aquífero – também cumpriu suas funções determinadas, como importante ferramenta na avaliação de alternativas de projeto.

Em relação aos indicadores sanitários de possibilidade de transmissão de doenças e proliferação de insetos, foi observado que, em grande parte das vezes, eles se confundiram. Isso ocorreu em função dos fatores intervenientes à transmissão de doenças de veiculação hídrica serem, em grande parte das vezes, semelhantes aos referentes à proliferação de insetos. Além disso, observando os pesos dados pelos especialistas em sua análise foi verificado que não havia grandes variações. Sendo

assim, pode ser pensada a integração dos dois formando um único indicador sanitário ou a definição de parâmetros que possam esclarecer as diferenças entre eles.

No tocante aos indicadores de impacto do sistema proposto na qualidade das águas escoadas ou infiltradas, foram determinados diversos fatores a serem considerados na avaliação, por meio da bibliografia consultada e das principais características das técnicas de drenagem. Entretanto, notou-se a insuficiência de estudos que determinassem parâmetros numéricos referentes ao impacto causado pela implantação de sistemas de drenagem na qualidade das águas.

Os indicadores de inserção ambiental e social também se mostraram úteis, cumprindo seus papéis principais. No entanto, assim como aqueles referentes ao impacto na qualidade das águas notou-se a ausência de estudos ou avaliações que dessem subsídios numéricos à comparação de alternativas.

A análise de pertinência e importância dos indicadores propostos, realizada por especialistas na área da drenagem urbana, foi uma etapa de grande importância no trabalho. Os pesos atribuídos pelos especialistas aos indicadores propostos apresentaram algumas variações, de acordo com as funções de cada especialista e sua área de experiência. No entanto, observando-se as ordenações dadas como resultado dos estudos de caso com os pesos arbitrados por cada grupo de especialistas, pode ser concluído que seus valores não influenciaram, significativamente, as primeiras e as últimas colocações. Esse aspecto demonstra a robustez das soluções de base obtidas. No entanto, seguindo o método Delphi, a metodologia adotada para obtenção dos pesos poderia prever maior integração entre os especialistas com a possibilidade de cada um deles ter acesso às análises realizadas pelos outros de forma a poder reavaliar seus valores. Além disso, o número de especialistas que participaram do trabalho poderia ser aumentado uma vez que, quanto maior o número de participantes do processo, maior é a chance de que a análise de tendência realizada determine valores mais realistas.

8.2- Métodos de Análise

A escolha da alternativa de projeto na área de recursos hídricos, e mais especificamente em drenagem urbana, tem-se baseado principalmente em considerações econômicas, dentre as alternativas que atendem a determinados critérios técnicos hidráulicos e hidrológicos. Entretanto, esta forma de análise tem-se tornado bastante limitada nos dias atuais, em vista do desenvolvimento de novos critérios de grande relevância, como ambientais, sociais, sanitários e outros. Sendo assim, foi necessária a utilização de uma metodologia de análise multicritério, de forma a obter uma maior abrangência na análise.

Dentro de uma gama de métodos de análise multicritério existentes, foram escolhidos dois, com formas distintas de comparação de alternativas, de forma a permitir comparar seus resultados e, sendo assim, obter uma ordenação mais clara das alternativas. O Electre III e o Programação de Compromisso pertencem a famílias diferentes de métodos de análise multicritério, possuindo formas distintas de tratar o problema.

A utilização de softwares desenvolvidos especificamente para cada um desses métodos tornou sua aplicação mais simples e com um bom nível de entendimento do trabalho. O método da Programação de Compromisso teve aplicação mais fácil, com necessidade de atenção para a definição dos vetores de melhor e pior resultado para cada indicador. Quanto ao Electre III, apresenta maiores condições de representar particularidades do problema. Entretanto, tem aplicação mais complexa em função da maior dificuldade de definição dos limiares de indiferença e preferência.

A aplicação desses dois métodos aos estudos de caso gerou ordenações com algumas diferenças, principalmente em função das diferentes formas de abordagem do problema, como as relações de incomparabilidade e preferência existentes no Electre III. No entanto, as primeiras e últimas colocações não variaram entre eles. Além disso, em todas as análises de sensibilidade realizadas as duas primeiras alternativas se revezaram na primeira posição para os dois métodos e para os dois estudos de caso realizados.

Desses resultados, conclui-se que a escolha do método multicritério não foi um fator essencial na ordenação de alternativas, e sim a determinação dos critérios e pesos utilizados nas análises.

Os resultados sugerem, ainda, a possibilidade de desenvolvimento de softwares com estrutura formal mais simples por instituições de pesquisa, de acesso mais fácil à comunidade, de forma a poder ser utilizada a análise multicritério e a avaliação de sistemas de drenagem urbana por meio dos indicadores e da metodologia propostos.

8.3- Estudos de Caso

Para a aplicação e validação da metodologia proposta, foi necessária a escolha de projetos que contemplassem alternativas bastante distintas e utilizando sistemas clássicos e alternativos de drenagem urbana. Os três casos analisados tinham alternativas de projeto que variavam desde os sistemas clássicos até alternativos, incluindo bacias de retenção em áreas públicas e nos lotes, valas, valetas e trincheiras de retenção e de infiltração além de pavimentos com estruturas de reservação e infiltração. Desses estudos, utilizando a metodologia proposta, puderam ser observadas algumas conclusões relevantes.

Em todos os três casos, as alternativas previstas com a utilização de sistemas clássicos de drenagem urbana foram colocadas em último lugar. Isso decorre do fato desses sistemas simplesmente cumprirem suas funções técnicas de transferir as águas precipitadas para jusante, sem trazer ganhos ambientais ou sociais para a população residente no local. Sendo assim, ao comparar indicadores hidrológicos, sanitários, ambientais, sociais e referentes à qualidade das águas, era esperado que sistemas incorporando técnicas alternativas, como bacias de retenção ou trincheiras de infiltração, se mostrassem mais bem classificados uma vez que trazem maiores ganhos no cômputo geral.

Em relação à primeira colocação, no caso de Goiânia, as duas soluções prevendo sistemas alternativos de drenagem com a implantação de bacias de retenção nos lotes ou nas parcelas se revezaram em todas as análises realizadas. Sendo assim, não foi possível

determinar apenas uma das duas que fosse absolutamente melhor. Para isso, seria necessária a utilização de outros indicadores ou a melhoria na precisão dos valores calculados para os indicadores e pesos arbitrados.

Também no caso de Technopolis, duas alternativas se mantiveram nos primeiros lugares em todas as análises realizadas, com pequenas modificações nos valores dos indicadores e em seus pesos. Nesse caso, estas duas soluções previam a adoção de técnicas alternativas de drenagem, como pavimentos porosos e valas operando conjuntamente com uma bacia a jusante, permitindo o amortecimento das cheias com tempo de retorno de 100 anos. A principal diferença entre estas duas soluções consiste na adoção da infiltração nos pavimentos, valas e na bacia, pela alternativa IV-100. Assim como no caso de Goiânia, a escolha da melhor alternativa de projeto poderia ser feita apenas com uma maior precisão nos valores e nos pesos dos indicadores ou a inclusão de outros indicadores na análise.

No estudo de caso realizado para o loteamento “Vivendas de Santa Mônica”, em Igarapé, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, havia apenas duas alternativas de projeto. A primeira utilizando um sistema clássico e a segunda com a previsão de trincheiras de infiltração de forma a reduzir o volume escoado. Para esse caso não foi necessária a aplicação da análise multicritério uma vez que a alternativa que previa as técnicas alternativas se mostrou melhor ou igual à outra em todos os indicadores avaliados.

Dos três estudos de caso realizados pôde ser verificado o melhor desempenho das técnicas alternativas nos aspectos ambientais e sociais, concluindo por sua escolha em todos eles. Os sistemas projetados com a utilização dessas técnicas se tornaram vantajosos nas análises multicritério realizadas comparando os indicadores propostos. Foi observado, ainda, que os sistemas prevendo soluções clássicas de drenagem urbana foram classificados em último lugar nos três estudos de caso.

8.4- Perspectivas

Para a continuação e complementação deste trabalho, visualizou-se a possibilidade de abertura de perspectivas para o desenvolvimento de novos estudos, de formas diversas.

Constatou-se a viabilidade da continuação de estudos referentes às técnicas alternativas de drenagem urbana. Uma vez que, na análise dos estudos de caso realizada com os indicadores propostos, foi verificada a preferência por sistemas utilizando estas técnicas, é importante que sejam procedidos novos estudos, principalmente verificando os ganhos ambientais e sociais dessas técnicas.

Quanto à metodologia utilizada em relação aos grupos de especialistas envolvidos na análise de importância, acredita-se que poderia se desenvolver de uma forma que eles tivessem participação mais ativa no processo. Sendo assim, um aspecto que poderia ser melhorado se refere à metodologia adotada para a obtenção dos pesos dos indicadores. A metodologia adotada, de procura de uma tendência entre os pesos arbitrados por eles, pode ter sido exageradamente numérica. Uma sugestão seria que cada um deles tivesse acesso aos pesos e comentários dados pelos outros de forma a poder repensar sua

análise e discuti-la com outros especialistas na mesma área. Nesse caso a negociação de pesos se tornaria mais real e consistente e seria procurado um consenso entre os especialistas na área. Além disso, poderiam ser incrementados os grupos de pessoas entrevistadas, incluindo-se, por exemplo, a comunidade e membros de Organizações Não-Governamentais (ONGs). O número de pessoas entrevistadas que, no estudo presente foi de três para cada grupo, poderia também ser aumentado de forma que a análise de tendência pudesse ser mais abrangente e consistente.

Quanto à escala de avaliação e aos pesos atribuídos aos indicadores, pode ser estudada a possibilidade de ser amarrada em um contexto específico local. Isso significa que, de acordo com a análise a ser realizada para uma determinada área, pode ser desejável uma maior ou menor ênfase em um determinado critério ou indicador, sendo aumentado ou reduzido o seu peso.

No que se refere a novos indicadores e critérios de análise, pode ser implementada a análise financeira com o desenvolvimento de indicadores referentes à construção, manutenção e durabilidade dos sistemas de drenagem. Percebeu-se, ainda, a possibilidade da criação de um indicador de percepção das águas de chuva na cidade. Esses novos indicadores e outros que se considerar pertinentes, como indicadores jurídicos, políticos, ecológicos e culturais, poderiam ser acrescentados aos propostos nesse trabalho, de forma a proporcionarem a realização de uma análise mais ampla e completa.

Em relação aos indicadores propostos de análise subjetiva, pôde ser verificada a possibilidade da realização de estudos de forma a desenvolver parâmetros numéricos de comparação para alguns deles permitindo facilitar e dar maior precisão e clareza na definição de seus valores. Como exemplo, pode ser citada a possibilidade de definição de parâmetros referentes à alteração da qualidade da água pluvial em função das diferentes técnicas de drenagem urbana.

Quanto à análise multicritério, percebe-se o interesse no desenvolvimento de modelos com estrutura formal mais simples, de mais fácil acesso à comunidade, desenvolvidos por instituições de pesquisa com metodologia semelhante à dos modelos utilizados. Isso facilitará bastante para que os especialistas na área possam se valer e fazer utilizar a metodologia proposta de comparação de alternativas de projeto em drenagem urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- ADRIAANSE, A. Environmental policy performance indicators. SDV Publishers. Haia, Holanda. 1993.
- 2- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F. N. e ALFAKIH, E. **Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial: choix, conception, réalisation et entretien**. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris, França. 372 p. 1994.
- 3- AZZOUT, Y. Aide a la décision appliquée au choix des techniques alternatives en assainissement pluvial. Tese de doutorado. Méthodes de conception en aménagement, bâtiment et techniques urbaines – L’Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Lyon, França. 245p. 1996.
- 4- BALADES, J. D.; RAIMBAULT, G. Urbanisme et assainissement pluvial. Bulletin de liaison du laboratoire des Ponts et Chaussées, n°170. Paris, França. pp. 47-59. 1990.
- 5- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; SOUZA, V. C. B. Projeto de drenagem “Loteamento Vivendas de Santa Mônica”. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – EE-UFG. 1997.
- 6- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; SOUZA, V. C. B.; COSTA, L. S. G. M. Utilização de tecnologias compensatórias no projeto de um sistema de drenagem urbana. Anais do XVII Congresso Nacional del Água e II Simpósio de Recursos Hídricos del Conosur. Santa Fé, Argentina. pp. 248-257. Agosto de 1998.
- 7- BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S.; ALFAKIH, E. Analyse comparative des coûts de réalisation d’aménagements avec solutions classique d’assainissement et avec l’utilisation de techniques alternatives – Le cas de Bordeaux – Technopolis. Relatório Técnico INSA de Lyon. 2000.
- 8- BAPTISTA, M. B. Técnicas alternativas em drenagem urbana. Notas de aula da disciplina de drenagem urbana do programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da escola de engenharia da UFG. Belo Horizonte. 2001.
- 9- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. O contexto da drenagem urbana. Texto da disciplina de drenagem urbana do programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da escola de engenharia da UFG. Belo Horizonte. 10p. 2001.
- 10- BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S.; ALFAKIH, E. Analyse de donnés pour l’élaboration d’indicateurs technico-economique de système alternative em assainissement pluvial. Novatech 2001. Vol. 1. pp. 63-70. Lyon, França. 2001.
- 11- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 7, n.1. Porto Alegre. 2002.
- 12- BARRAUD, S.; MIRAMOND, M.; LE GAUFFRE, P. Méthode d’aide au choix multicritère de scenarios alternatifs em assainissement pluvial: analyse a posteriori de la pertinence d’une famille de critères. Second international conference on decision making in urban and civil engineering. pp 329-340. Lyon, França. 20-22 novembro de 2000.
- 13- BARRAUD, S.; BARDIN, J. P.; ALFAKIH, E. Construction d’indicateurs de performances techniques, économiques et environnementales des ouvrages

- d'infiltration des eaux pluviales em milieu urbain. Laboratoire d'unité de recherche en génie civil – hydrologie urbaine. 65p. Lyon, França. 2001.
- 14- BATISTA, S. Associação entre modalidades de intervenção em fundos de vale e indicadores de saúde na bacia do ribeirão da Onça, Belo Horizonte. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 203p. 2000.
 - 15- BELGRAND, E. Communication du 14 juillet 1857. Société météorologique de France. Annuaire tome 5. Paris, França. pp 179-185. 1857.
 - 16- BELGRAND, E. Les travaux souterrains de Paris: les égouts, les vidanges. Ed. Vve Dunot. Paris, França. 1887.
 - 17- BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. Cours d'hydrologie urbaine. Notas de aula. URG- HU- INSA. Lyon, França. 2000.
 - 18- BRAGA JUNIOR, B. P. F.; GOBETTI, L. E. C. Análise Multiobjetivo. In: Porto, R. L. (Org.) **Técnicas quantitativas para gerenciamento de recursos hídricos**. Ed. Universidade, UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 420p. 1997.
 - 19- BÜRKL-ZIEGLER. Grösste abflussmenge bei städtischen abzugkanälen. Ed. Füssli and co. Zurique, Suíça. 1880.
 - 20- CERTU (Centre d'études sur les reseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques). **Techniques alternatives aux reseaux d'assainissement pluvial**. Collections du Certu, 155p. 1998.
 - 21- CHEVALIER, S.; CHOINIERE, R.; BERNIER, L. User guide to 40 community health indicators. Community Health Division, Health and Welfare. Ottawa, Canadá. 1992.
 - 22- CHOCAT, B. (Coord.) **Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement**. Lavoisier. Paris, França. 1124 p. 1997.
 - 23- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. McGraw-Hill Inc. Nova York, Estados Unidos. 572 p. 1988.
 - 24- COHON, J. L.; MARKS, D. H. A review and evaluation of multiobjective programming techniques. Water resources research, vol. 11, nº2. pp. 208-220. 1975.
 - 25- COMBELLES, F. Les enrobés drainants sur autoroute. Revue générale des routes e aérodromes, special printemps. Paris, França. pp. 52-55. 1991.
 - 26- COSTA FILHO, J. M. M. Projeto de drenagem "Loteamento Vivendas de Santa Mônica". 1996.
 - 27- CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Controle do escoamento com detenção em lotes urbanos. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 3, n.4. Porto Alegre. pp 19-31. 1998.
 - 28- DUCKSTEIN, L.; OPRICOVIC, S. Multiobjective optimization in river basin development. Water Resources Research. nº16. pp14-20. 1980.
 - 29- ELLIS, J. B.; HVITED-JACOBSEN, T. Urban drainage impacts on receiving waters. Journal of hydraulic research. Association internationale des recherches hydrauliques. vol. 34. nº6 pp. 771-784. 1996.
 - 30- GENERINO, R. C. M.; CORDEIRO NETTO, O. M. Métodos multicritério Electre. Texto de disciplinas do mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos do departamento de engenharia civil e ambiental da Universidade de Brasília. Brasília. 13p. 1999.

- 31- GOBETTI, L. E. C. Análise multiobjetivo aplicada ao planejamento de sistemas de recursos hídricos. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 132p. 1993.
- 32- GOICOECHEA, A.; HANSEN, D. R.; DUCKSTEIN, L. **Multiobjective decision analysis with engineering and business applications**. Ed John Wiley & Sons. 1982.
- 33- GOLDENFUM, J. A.; SOUZA, V. C. B. Tranchées d'infiltration pour le contrôle du ruissellement urbain: une étude expérimentale. Poster. Novatech. 2001. Lyon, França. 2001.
- 34- HARADA, A. L. Metodologias para a seleção de soluções para coleta, tratamento e disposição de esgotos em condomínios do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 186p. 1999.
- 35- HARADA, A. L.; CORDEIRO NETTO, O. M. Métodos Multicritério de auxílio à decisão. Texto de disciplinas do mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos do departamento de engenharia civil e ambiental da Universidade de Brasília. Brasília. 13p. 1999.
- 36- I.A.U.R.I.F. L'eau, la ville et l'urbanisme. Cahiers de l'IAURIF, vol. 116. 1997.
- 37- IBGE. Censo Demográfico. 2000.
- 38- KUILCHING, G. The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. ASCE. Vol 120. Estados Unidos. pp 1-56. 1889.
- 39- LICHFIELD, N.; KETTLE, P. WHITBREAD, M. **Evaluation in the planing process**. Oxford: Pergamon. 1975.
- 40- LLOYD-DAVIES, D. E. The elimination of storm water from sewerage systems. Institution of civil engineers. Vol 164. Reino Unido. pp. 41-67. 1906.
- 41- MAYSTRE, L. Y.; PICTEC, 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.
- 42- MILOGRANA, J. Estudo de medidas de controle de cheias em ambientes urbanos. Dissertação de Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 106p. 2001.
- 43- MISHAN, E. J. **Cost-benefit analysis: an informal introduction**. George Allen & Union Ltd. Londres, Reino Unido. 1975.
- 44- MOLDAN, B.; BILHARZ, S. (Ed.) **Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development**. Ed John Wiley & Sons. Chichester, Reino Unido. 415p. 1997.
- 45- MOLDAN, B. Decision Making Circle. In: Moldan, B.; Bilharz, S. (Ed.) **Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development**. Ed John Wiley & Sons. Reino Unido. 415p. 1997.
- 46- OECD – Organization for Economic Cooperation and Development. Core set of indicators for environmental performance reviews: a synthesis report by the group on the state of the environment. OECD. Paris, França. 1993.
- 47- ORTOLANO, L. **Environmental regulation and impact assessment**. Ed. John Wiley & Sons inc. 604p. 1997.
- 48- MC QUEEN, D.; NOAK, H. Health promotion indicators: current status, issues and problems. Health Promotion. pp. 117-125. 1988.

- 49- PIPIEN, G.; CHRISTORY, J. P.; COMBELLES, F.; RAIMBAULT, G. Routes à structures poreuses: où en est-on?. Revue générale des routes et aérodromes, n°694. Paris, França. pp. 33-40. 1992.
- 50- RAIMBAULT, G.; BALADES, J. D.; FAURE-SOULET, A. Quatre expérimentations françaises de chaussées poreuses. Bulletin de liaison du laboratoire des Ponts et Chaussées, n°137. Paris, França. pp. 43-55. 1985.
- 51- ROY, B. Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode Electre). Revue informatique et recherche opérationnelle, n°8. Paris, França. pp57-75. 1968.
- 52- ROY, B.; BERTHIER, P. La méthode Electre II: une méthode de classement en présence de critères multiples. Sema, direction scientifique. Paris, França. 25p. 1971.
- 53- ROY, B.; BERTHIER, P. La méthode Electre II: une application au media-planning. Operational research. pp.191-302. 1973.
- 54- ROY, B. Electre III: un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critère multiple. Cahier du CERO, vol. 20, n°1. Paris, França. pp3-24. 1978.
- 55- ROY, B.; HUGONNARD, J. C. Classement des prolongements de lignes de métro en banlieue parisienne: présentation d'une méthode multicritère originale. Cahier du CERO, vol 24. Paris, França. pp153-171. 1982.
- 56- ROY, B.; BOUYSSOU, D. Comparison of two decision-aid models applied to a nuclear power plant siting example. Cahier du Lamsade, n°47. Paris, França. 35p. 1983.
- 57- ROY, B.; SKALKA, J. M. Electre IS: aspects méthodologiques et guide d'utilisation. Document du Lamsade, n°30. Paris, França. 125p. 1985.
- 58- ROY, B.; SLOWINSKI, R.; TREICHEL, W. Multicriteria programming of water supply systems for rural areas. Water resources bulletin, vol. 28, n°1. 1992.
- 59- ROY, B.; BOUYSSOU, D. Aide multicritère à la décision: méthodes et cas. Ed. Economica, collection Gestion. Paris, França. 695p. 1993.
- 60- SIMOS, J. **Evaluer l'impact sur l'environnement: une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation.** Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, Suïça. 261p. 1990.
- 61- SISKOS, J.; HUBERT, P. Multicriteria analysis of the impacts of energy alternatives: a survey and a new comparative approach. European journal of operational research, vol. 13. pp.278-299. 1983.
- 62- SOUZA, M. A. A. Um modelo para seleção de processos de tratamento de águas residuárias municipais. Anais do XXVI Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental, AIDIS. Lima, Peru. 19p. 1-5 de novembro, 1998.
- 63- STU ET AGENCES DE L'EAU. **Guide Technique des Bassins de Retenue d'Eaux Pluviales.** Technique et Documentation. Ed. Lavoisier. Paris, França. 276 p. 1994.
- 64- STU. Reconcilier l'Eau et la Ville para la Maîtrise des Eaux Pluviales. Les Editions du STU. Paris, França. 64 p. 1991.
- 65- THOMACHOT, M. Quelques exemples d'assainissement des eaux pluviales routières et autoroutières par bassins et puits absorbants em région Ile de France. Villeurbanne: Communications du colloque national "Connaître le sous-sol: un atout pour l'aménagement urbain". Paris, França. pp 1047-1059. 1979.

- 66- TUNSTALL, D. Developing environmental indicators: definitions, framework and issues. Workshop on global environmental indicators. Washington D. C., Estados Unidos. 1992.
- 67- TUNSTALL, D. Developing and using indicators of sustainable development in Africa. Thematic workshop on indicators of sustainable development. Banjul, Gâmbia. 1994.
- 68- URBONAS, B.; STAHRÉ, P. **Stormwater: best management, practices and detention for water quality drainage, and CSO management.** Prentice Hall. Englewood Cliffs, Estados Unidos. 449 p. 1993.
- 69- VINCKE, P. **L'aide multicritère à la décision.** Éditions de l'Université de Bruxelles. Bruxelles, Bélgica. 179p, 1989.
- 70- YU, W. Electre Tri: Aspects méthodologiques et manuel d'utilisation. Document du Lamsade, n°74. Paris, França. 80p. 1992.
- 71- WISNER, P. **Introduction à l'hydrologie urbaine.** Université d'Ottawa et École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suíça. 1984.
- 72- ZELENY, M. **Multiple criteria decision making.** University of South Carolina Press. Columbia, Estados Unidos. 1973.

ANEXO A – Especialistas participantes do processo decisório e análises de importância realizadas

A.1- Especialistas participantes do processo decisório

1- Órgãos Ambientais

- Alberto Simon Schwartzman – Pró-Água/IGAM;
- Benerval Alves Laranjeira Filho – Gerente da Divisão de Projetos Urbanísticos e Infra-estrutura de transporte da FEAM;
- José Roberto Cabral – Consultor da FEAM.

2- Órgãos Gestores Municipais

- Weber Coutinho – Gerente do programa Pampulha – Prefeitura de Belo Horizonte;

3- Engenheiros Projetistas

- Mário Cicareli Pinheiro – Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda.
- Virgílio Almeida – Fluxo Engenharia de Projetos Ltda.
- Meiry Elizabeth dos Santos – Consultora Canal Ltda.

4- Pesquisadores

- Adolfo Oreste Nicolas Villanueva – IPH/UFRGS;
- Néstor Aldo Campana – UnB;
- César Augusto Pompeo – UFSC;
- Joel Avruch Goldenfum – IPH/UFRGS.

Nos quadros a seguir são apresentados os resultados das análises de importância realizadas, sem referenciar o especialista consultado.

A.2 – Análise de importância realizada pelos Projetistas

Indicador/ Especialista	Projetista 1	Projetista 2	Projetista 3	Tendência
I _O – Atendimento ao objetivo	15	5	40	10,0
I _{H1} – Impacto hidrológico nas vazões de jusante	15	10	9	9,5
I _{H2} – Impacto na recarga do aquífero	5	5	9	5,0
I _{S1} – Impacto na possibilidade de transmissão de doenças	13	10	1,5	11,5
I _{S2} – Impacto na possibilidade de proliferação de insetos	10	10	1,5	10,0
I _{Q1} – Impacto na qualidade das águas superficiais	10	10	6	10,0
I _{Q2} – Impacto na qualidade das águas subterrâneas	9	10	3	9,5
I _{A1} – Criação e preservação de habitats	1	10	6	8,0
I _{A2} – Impacto paisagístico	5	5	9	5,0
I _{SC1} – Criação de áreas de recreação e lazer	6	5	1,5	5,5
I _{SC2} – Impacto nas condições de circulação	3	5	6	5,5
I _{SC3} – possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas	3	5	1,5	3,0
I _{SC4} – Desapropriação de áreas	5	10	6	5,5

A.3 – Análise de importância realizada pelos Gestores Ambientais

Indicador/ Especialista	Gestor Ambiental 1	Gestor Ambiental 2	Gestor Ambiental 3	Tendência
I _O – Atendimento ao objetivo	30	11	5	8,0
I _{H1} – Impacto hidrológico nas vazões de jusante	15	14	12	14,5
I _{H2} – Impacto na recarga do aquífero	3	5	7	5,0
I _{S1} – Impacto na possibilidade de transmissão de doenças	6	15	8	7,0
I _{S2} – Impacto na possibilidade de proliferação de insetos	6	12	8	7,0
I _{Q1} – Impacto na qualidade das águas superficiais	8	10	12	10,0
I _{Q2} – Impacto na qualidade das águas subterrâneas	5	4	12	4,5
I _{A1} – Criação e preservação de habitats	4	3	13	3,5
I _{A2} – Impacto paisagístico	4	1	7	4,0
I _{SC1} – Criação de áreas de recreação e lazer	3	6	7	6,5
I _{SC2} – Impacto nas condições de circulação	3	9	3	3,0
I _{SC3} – possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas	3	2	2	2,0
I _{SC4} – Desapropriação de áreas	10	8	4	9,0

A.4 – Análise de importância realizada pelo Gestor Municipal

Indicador/ Especialista	Gestor Municipal 1
I _O – Atendimento ao objetivo	15
I _{H1} – Impacto hidrológico nas vazões de jusante	15
I _{H2} – Impacto na recarga do aquífero	3
I _{S1} – Impacto na possibilidade de transmissão de doenças	3
I _{S2} – Impacto na possibilidade de proliferação de insetos	3
I _{Q1} – Impacto na qualidade das águas superficiais	5
I _{Q2} – Impacto na qualidade das águas subterrâneas	5
I _{A1} – Criação e preservação de habitats	10
I _{A2} – Impacto paisagístico	10
I _{SC1} – Criação de áreas de recreação e lazer	10
I _{SC2} – Impacto nas condições de circulação	10
I _{SC3} – possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas	6
I _{SC4} – Desapropriação de áreas	5

A.5 – Análise de importância realizada pelos Pesquisadores

Indicador/ Especialista	Pesq. 1	Pesq. 2	Pesq. 3	Pesq. 4	Tendência
I _O – Atendimento ao objetivo	8	5	12,5	9	8,5
I _{H1} – Impacto hidrológico nas vazões de jusante	10	24	12,5	9	10,5
I _{H2} – Impacto na recarga do aquífero	6	10	2,5	9	8,3
I _{S1} – Impacto na possibilidade de transmissão de doenças	14	5	7,5	9	7,2
I _{S2} – Impacto na possibilidade de proliferação de insetos	14	5	7,5	8	6,8
I _{Q1} – Impacto na qualidade das águas superficiais	7	5	10	9	8,7
I _{Q2} – Impacto na qualidade das águas subterrâneas	10	5	2,5	9	8,0
I _{A1} – Criação e preservação de habitats	7,5	5	10	8	8,5
I _{A2} – Impacto paisagístico	7,5	5	7,5	6	6,5
I _{SC1} – Criação de áreas de recreação e lazer	3	4	10	6	4,3
I _{SC2} – Impacto nas condições de circulação	5	6	5	5	5,0
I _{SC3} – possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas	3	6	10	8	8,0
I _{SC4} – Desapropriação de áreas	5	15	2,5	5	4,2

A.6 – Análise das tendências dos pesos arbitrados

Indicador/ Especialista	Projetistas	Gestores Ambientais	Gestores Municipais	Pesquis.	Tendência
I _O – Atendimento ao objetivo	10,0	8,0	15	8,5	8,8
I _{H1} – Impacto hidrológico nas vazões de jusante	9,5	14,5	15	10,5	12,4
I _{H2} – Impacto na recarga do aquífero	5,0	5,0	3	8,3	4,3
I _{S1} – Impacto na possibilidade de transmissão de doenças	11,5	7,0	3	7,2	7,1
I _{S2} – Impacto na possibilidade de proliferação de insetos	10,0	7,0	3	6,8	6,9
I _{Q1} – Impacto na qualidade das águas superficiais	10,0	10,0	5	8,7	9,6
I _{Q2} – Impacto na qualidade das águas subterrâneas	9,5	4,5	5	8,0	6,8
I _{A1} – Criação e preservação de habitats	8,0	3,5	10	8,5	8,3
I _{A2} – Impacto paisagístico	5,0	4,0	10	6,5	5,2
I _{SC1} – Criação de áreas de recreação e lazer	5,5	6,5	10	4,3	5,4
I _{SC2} – Impacto nas condições de circulação	5,5	3,0	10	5,0	4,5
I _{SC3} – possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas	3,0	2,0	6	8,0	3,7
I _{SC4} – Desapropriação de áreas	5,5	9,0	5	4,2	4,9

ANEXO B – Questionário para a avaliação da pertinência e dos pesos referentes a indicadores para a avaliação de alternativas de projeto de sistemas de drenagem urbana

Introdução

O trabalho realizado pela pesquisa em curso visa a proposição de indicadores de performance com a finalidade de avaliar de sistemas de drenagem urbana, subsidiando a tomada de decisões quanto às técnicas a serem utilizadas. Para isso, foram definidos, em um primeiro momento, os critérios a serem avaliados e comparados nas diferentes alternativas de projeto. Estes critérios, a serem utilizados neste trabalho, foram propostos a partir de estudos e consulta à bibliografia existente referente aos domínios da hidrologia urbana e às técnicas clássicas e alternativas de drenagem urbana. Os critérios propostos foram: objetivo, impactos da obra e inserção.

Posteriormente, ainda na mesma pesquisa, eles serão utilizados em um estudo de caso real, para a avaliação e comparação de diversas alternativas de projeto com arranjos diferentes para a mesma área. Estes arranjos serão propostos com a utilização de:

- Sistema clássico;
- Sistema clássico acompanhado de uma bacia de detenção;
- Sistema alternativo, com bacia de detenção, pavimentos reservatórios e valas.

Essa comparação será feita a partir de uma análise multicritério, de forma a agregar, através de uma matriz de conseqüências os valores dos indicadores para cada uma das alternativas e seus pesos, de forma a poder escolher a melhor a ser adotada segundo os critérios já supracitados.

Entretanto, para que isso possa ser feito, é importante que seja determinada a importância relativa de cada indicador. Essa avaliação é feita através da atribuição de pesos para cada um deles, realizada pelos participantes do processo decisório.

Solicitamos, então, que o texto referente à explicação destes indicadores seja lido e entendido, de forma que a importância destes indicadores possa ser bem avaliada. Após a leitura realizada, devem ser atribuídos os pesos referentes a esses indicadores. É importante que a soma desses pesos atribuídos seja igual a 100, de forma a tornar mais forte o caráter de comparação entre eles. Como sugestão para esta avaliação, o participante deve ordenar os indicadores do mais importante ao de menor relevância, na sua opinião, antes de atribuir os valores dos pesos.

Pedimos ainda, que, em um segundo momento, seja realizada a avaliação sucinta desses indicadores propostos de forma a validá-los, verificando a pertinência destes, se for o caso excluindo ou acrescentando algum aspecto que deva ser utilizado na comparação de alternativas de projeto de sistemas de drenagem urbana.

A seguir, apresentamos uma descrição dos indicadores propostos.

1- Critério “Objetivo” (I_{obj})

2.1 – Atendimento ao objetivo da obra

Este critério concerne ao objetivo principal para o qual a obra está sendo projetada, definido como a drenagem e o controle de inundações de uma dada área. O indicador proposto refere-se à relação entre o tempo de retorno desejável para a obra em questão e o tempo de retorno previsto no projeto em questão.

2- Critério “Impactos da Obra” (I_{imp})

O critério referente aos impactos da obra foi dividido em três aspectos a serem avaliados, sendo eles: hidrológicos, sanitários e referentes à qualidade das águas.

2.1 – Hidrológicos

Os impactos hidrológicos a serem avaliados serão através de indicadores referentes às águas superficiais e subterrâneas.

2.1.1 – Impacto sobre as vazões a jusante

Este indicador terá a finalidade de avaliar os impactos do sistema de drenagem proposto em relação à vazão desejável de ser mantida a jusante. Esta vazão, chamada aqui de “vazão alvo”, será comparada com as vazões escoadas a jusante por cada uma das alternativas de projeto propostas, de forma a verificar o atendimento a um determinado valor pressuposto. Este valor poderá ser uma vazão mínima para manter alguma captação existente ou uma vazão máxima que levaria à inundação da área a jusante.

2.1.2 – Recarga do aquífero

O valor desse indicador se dará a partir da relação entre a vazão infiltrada segundo determinada alternativa de projeto e a vazão infiltrada caso a área não estivesse urbanizada. Quanto maior for essa relação, mais positivo será o impacto da alternativa em relação à recarga do aquífero.

2.2 - Sanitários

Os impactos sanitários da obra de drenagem serão em relação à possibilidade de transmissão de doenças e de proliferação de insetos.

2.2.1 – Possibilidade de transmissão de doenças

O indicador avaliado por este aspecto será relacionado com a possibilidade de ocorrência de inundações devido às grandes chuvas, de empoçamento de águas pluviais, de carreamento de lixo pelo sistema de drenagem, além da poluição das águas pluviais pelo lançamento de esgotos. Esses são os principais fatores intervenientes à

disseminação de doenças em áreas onde o sistema de drenagem é inexistente ou ineficaz.

Será considerada ainda, a tendência ou a existência de epidemias de veiculação hídrica na área do empreendimento em questão, bem como a proximidade e o contato das pessoas com as águas pluviais desse sistema, o que pode contribuir para o aumento da possibilidade da transmissão de doenças.

2.2.2 – Possibilidade da proliferação de insetos

Esse aspecto será avaliado através de um indicador que deve considerar, principalmente, a tendência para a existência de insetos, presentes na área do empreendimento em questão, a existência de coleta de lixo e a presença de interceptores de esgotos, fatores estes intervenientes ao aumento da possibilidade de proliferação de insetos.

Havendo contaminação das águas pluviais, é importante observar a possibilidade do contato destas com o ambiente atmosférico, o que poderia levar ao aumento da tendência para a proliferação de insetos.

2.3 - Qualidade das águas

A avaliação dos impactos da obra em relação à qualidade das águas será através de dois indicadores, sendo o primeiro referente às águas superficiais e o segundo referente às águas subterrâneas.

2.3.1 – Impacto nas águas superficiais

A avaliação do indicador referente ao impacto na qualidade das águas superficiais se dará através da consideração dos principais fatores de possível contaminação e sua relação com a técnica a ser utilizada de drenagem. Os principais fatores de possível contaminação a ser considerados podem ser:

- A existência de empreendimentos cuja produção seja acompanhada do despejo de poluentes, que poderiam impactar negativamente na qualidade das águas escoadas;
- A existência de ligações clandestinas de esgotos diretamente na rede pluvial;
- A falta de coleta regular de lixo, o que levaria ao despejo nos cursos de água ou o carreamento de lixo pelas águas pluviais escoadas.

Serão considerados ainda no valor desse indicador possíveis efeitos positivos, como a existência de estruturas de pré-tratamento como filtros, decantadores ou simplesmente o efeito retenção das águas.

2.3.2 – Impacto nas águas subterrâneas

Para a avaliação desse indicador, devem ser considerados, assim como para as águas superficiais, os fatores causadores de poluição ou depuração nas águas. Esses fatores deverão ser relacionados com cada alternativa de projeto de forma a ser verificada a

possibilidade do impacto a ser causado pela técnica utilizada ser positivo ou negativo em relação à qualidade das águas subterrâneas.

3- Critério “Inserção” (I_{ins})

O critério que se refere à inserção da obra, foi dividido em dois aspectos principais, a serem avaliados, sendo eles: ambiental e social.

3.1 – Ambiental

No que tange ao aspecto referente à inserção ambiental das diversas alternativas de projeto de sistemas de drenagem, foram propostos dois indicadores a serem avaliados. Estes indicadores se referem à criação e preservação de habitats e ao impacto paisagístico produzido pelo sistema de drenagem projetado.

3.1.1 – Criação e preservação de habitats

Segundo Ortolano (1997), um ecossistema pode ser definido como uma comunidade biótica e seu ambiente abiótico. Ele deve ser considerado como a unidade básica utilizada ao avaliar impactos biológicos devidos a algum projeto a ser empreendido. Qualquer modificação em uma parte da área, alterará o seu ecossistema. Dentro deste pensamento, a preservação de áreas é um aspecto bastante importante de ser considerado no tocante à inserção ambiental. Quanto maiores forem as áreas impactadas devido à obra e ocupação do sistema da drenagem maior será o impacto em relação a este critério.

Além disso, devem ser também consideradas as áreas ecologicamente aptas criadas a partir da implantação de um determinado sistema de drenagem. Este aspecto é importante de ser considerado, uma vez que estas novas áreas, que serão, a partir de então, de preservação, deverão abrigar ecossistemas com uma diversidade compatível com as condições naturais do meio.

Portanto, o indicador proposto para a avaliação deste aspecto deve levar em consideração a relação entre a área ecologicamente apta antes de ser feita a intervenção para a obra de drenagem e a área ecologicamente apta após a intervenção.

3.1.2 – Impacto paisagístico

A avaliação desse critério trata de verificar se o cenário proposto para cada alternativa de projeto está ou não de acordo com o desejo ou as características urbanas determinadas pelo plano diretor de uso e ocupação do solo.

Para avaliar este critério, deve-se analisar os princípios existentes para a organização e as tendências urbanísticas da região do empreendimento, verificando o atendimento de cada alternativa de projeto.

A avaliação do indicador referente a esse critério é muito difícil de ser realizada através de expressões matemáticas, devendo ser feita pelo decisor, através de comparações entre os diversos cenários propostos e seu atendimento a pressupostos paisagísticos previstos para a área que se deseja empreender o sistema de drenagem.

3.2 – Social

Em relação ao aspecto referente à inserção social do sistema de drenagem, serão avaliados indicadores relativos à criação de áreas de recreação, lazer e novos equipamentos urbanos, impactos nas condições de circulação do sistema, à possibilidade do desempenho de outras funções técnicas e os efeitos da desapropriação de áreas.

3.2.1 – Criação de áreas de recreação e lazer e equipamentos urbanos

Além de seus objetivos principais, de drenagem e o controle de inundações, uma obra de drenagem urbana pode ainda impactar o tecido urbano, com a criação ou a redução das áreas de recreação, lazer e equipamentos urbanos. Este impacto, será avaliado através de um indicador traduzido a partir da relação entre as áreas referentes a recreação e lazer existentes na área antes e depois da implantação do sistema de drenagem.

Quanto maior for a área referente à recreação, lazer e equipamentos urbanos a ser criada por determinada alternativa, melhor será o impacto social dessa alternativa em relação a este aspecto e, conseqüentemente, maior será o valor desse indicador.

3.2.2 – Impacto nas condições de circulação

A utilização de diferentes técnicas de drenagem urbana pode causar um impacto benéfico ou prejudicial às condições de circulação. Este impacto é difícil de ser quantificado através de expressões matemáticas, por depender de diversos fatores que não podem ser inter-relacionados diretamente.

Os principais fatores benéficos às condições de circulação podem ser, a redução do efeito de aquaplanagem e dos níveis sonoros, devidos à implantação de estruturas como pavimentos porosos, além da criação ou expansão de vias de circulação e estacionamento

Como principal fator prejudicial à circulação, pode ser citada a redução das vias de circulação devido à utilização de determinadas técnicas alternativas de drenagem. Essa redução pode ser ou não prejudicial, dependendo dos tipos de tráfego existentes na área do empreendimento em questão. Os principais tipos de tráfego a ser considerados são:

- Tráfego reduzido – Ruas secundárias;
- Tráfego médio – Rua principal ou arterial;
- Tráfego intenso – Avenida ou via expressa.

Portanto, o indicador referente à avaliação desse impacto em relação ao meio social, deverá ser avaliado de forma subjetiva pelo decisor, considerando os fatores benéficos ou prejudiciais às condições de circulação, causados por cada alternativa de projeto.

3.2.3 – Possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas

Determinadas técnicas utilizadas em sistemas de drenagem podem desempenhar outras funções técnicas importantes. Ao identificar as técnicas propostas para cada alternativa de projeto, é possível determinar outras funções, além daquelas inicialmente previstas. O Quadro 1 abaixo, adaptado de Azzout, (1996), apresenta algumas outras funções possíveis de serem associadas às diferentes técnicas.

Técnica utilizada	Funções técnicas associadas
Trincheiras, fossas, poços e estruturas reservatórios com pavimento drenante	Diminuição da presença de poças d'água.
Técnicas de infiltração	Contribuição ao equilíbrio do ecossistema (alimentação das raízes dos vegetais e recarga de aquíferos).
Estrutura de reservatório ou bacia enterrada	Reserva de água para regar jardim, lavagem de veículos ou imóveis, ou como reserva de incêndio, além de quaisquer outros usos.
Pavimentos porosos com estruturas de armazenamento	Redução das poças d'água, do efeito de aquaplanagem, dos níveis sonoros etc.
Obras em depressão	Possibilidade da reutilização dos materiais de corte
Obras vegetalizadas	Proteção contra a erosão dos terrenos.

QUADRO 1 – Funções técnicas possíveis de serem associadas às diferentes técnicas de drenagem, adaptada de Azzout, (1996).

A avaliação desse indicador deverá ser de forma subjetiva, realizada pelo decisor, considerando a possibilidade de utilização das técnicas estudadas na alternativa de projeto proposta, para o desempenho de outras funções, além daquelas para as quais foram inicialmente previstas, sem que sejam necessárias grandes modificações em sua forma de operação.

3.2.4 – Desapropriação de áreas

Para a utilização de determinadas técnicas alternativas de drenagem urbana, algumas áreas devem ser desapropriadas de forma a serem utilizadas pelo sistema proposto. Isso causa um impacto social negativo já que a negociação destas áreas nunca é feita de forma fácil ou natural. Há sempre um desgaste por parte dos administradores no momento de qualquer desapropriação a ser feita.

Portanto, o indicador proposto para a avaliação desse critério, levará em consideração as áreas a serem desapropriadas para cada alternativa de projeto, fazendo uma comparação entre elas. Quanto maior for a área desapropriada referente ao sistema de drenagem proposto, mais negativo será o impacto social dessa alternativa.

Planilha para a avaliação dos pesos referentes aos indicadores propostos

Nome:
Instituição:

Data:

Critério	Sub-critério	Indicador	Peso Atribuído
Objetivo		Atendimento	
Impactos da Obra	Impactos Hidrológicos	Impacto sobre as vazões de jusante	
		Recarga do aquífero	
	Impactos Sanitários	Possibilidade de transmissão de doenças	
		Possibilidade de proliferação de insetos	
	Impactos da qualidade das águas	Impacto das águas superficiais	
		Impacto das águas subterrâneas	
Inserção	Inserção Ambiental	Criação e preservação de habitats	
		Impacto paisagístico	
	Inserção social	Criação de áreas de recreação e lazer e equipamentos urbanos	
		Impacto nas condições de circulação	
		Possibilidade da utilização para o desempenho de outras funções técnicas	
		Desapropriação de áreas	
		Soma dos valores dos pesos atribuídos	

Obs: A soma dos valores dos pesos atribuídos deve ser igual a 100

Observações em relação aos indicadores propostos:
