

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

**MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA PRIORIZAÇÃO
DE MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

GISELE ADELITA MATIAS

Orientadora: Prof^a. Luciana Hazin Alencar, DSc.

Co-Orientadora: Prof^a. Danielle Costa Moraes, DSc.

RECIFE, DEZEMBRO / 2011

Catálogo na fonte
Bibliotecária Raquel Cortizo, CRB-4 664

M433m Matias, Gisele Adelita.
 Modelo de apoio à decisão para priorização de medidas de
 controle de inundações urbanas / Gisele Adelita Matias. -
 Recife: O Autor, 2011.
 xi, 62 folhas, il., gráfs., tabs.
 Orientadora: Prof^a. Luciana Hazin Alencar
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de
 Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em
 Engenharia de Produção, 2011.
 Inclui Referências Bibliográficas.

 1. Engenharia de Produção 2.Drenagem urbana. 3.Modelo
 de apoio à decisão 4.Técnicas compensatórias de drenagem
 urbana. I. Alencar, Luciana Hazin (orientadora). II. Título.

658.5 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2012-025



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

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO ACADÊMICO DE
GISELE ADELITA MATIAS

***"MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA PRIORIZAÇÃO DE MEDIDAS DE
CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS"***

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera a candidata GISELE ADELITA MATIAS **APROVADA**.

Recife, 19 de dezembro de 2011.

Profa. LUCIANA HAZIN ALENCAR, Doutor (UFPE)

Profa. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutor (UFPE)

Profa. CAROLINE MARIA DE MIRANDA MOTA, Doutor (UFPE)

Profa. FERNANDA WANDERLEY CORRÊA DE ARAÚJO, Doutor (FAVIP)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para superar todas as dificuldades encontradas ao longo do mestrado.

À minha orientadora, Prof^a. Luciana Hazin, por ter confiado em mim e ter aceitado o desafio.

À minha co-orientadora, Prof^a. Danielle Moraes, por ter acompanhado minha caminhada pelo PPGEF desde o princípio.

Ao Prof^o. Jaime Cabral por me receber no PPGEF-UFPE e me ajudar esclarecendo minhas dúvidas.

Aos meus pais e a minha irmã por me apoiarem e incentivarem em todos os momentos, pela paciência, amor e carinho.

Aos amigos do PPGEF-UFPE, em especial a Anieli Rangel, Joana Karolyni e Ricardo Ferreira pelas tardes de estudo e pelos momentos de descontração. Vocês tornaram meus dias mais alegres.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

Enfim, agradeço a todos que me ajudaram e torceram por mim durante essa etapa da minha vida.

RESUMO

O surgimento de inundações urbanas é um problema que tem se agravado a cada inverno que passa. São constantes as situações de emergências devido às inundações nas grandes cidades, e isso tem se agravado com o aumento da urbanização. O aumento das construções impermeabilizando o espaço urbano, e consequentemente reduzindo a capacidade de infiltração de água no solo, tem elevado a produção de escoamento superficial. Os sistemas de drenagem existentes nas cidades, na maioria dos casos, não comportam o volume superficial extra produzido, e como as águas pluviais não têm por onde escoar acabam se acumulando nas ruas gerando problemas de drenagem. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo a elaboração de um modelo de apoio à decisão para priorização de medidas compensatórias, visando o controle de inundações urbanas. Assim, foram definidos critérios que permitiram avaliar alternativas potenciais sob os aspectos: ambiental, social econômico e hidrológico. O modelo proposto é capaz de apoiar o processo de decisão avaliando a preferência do decisor através de funções e pesos atribuídos a cada critério, permitindo que as alternativas sejam avaliadas de maneira mais refinada possível. O método de apoio à decisão escolhido para dar suporte à modelagem foi o método multicritério PROMETHEE I, que possibilita a construção de uma relação de preferência por meio de comparação par a par fornecendo como resultado uma pré-ordem parcial das alternativas. Para ilustrar o modelo foi realizada uma simulação numérica que permitiu analisar a preferência do decisor em relação a quatro alternativas (A1 – trincheira de infiltração, A2 – pavimento permeável, A3 – poço de infiltração e A4 – reservatório individual), onde a alternativa A1 obteve o melhor desempenho. Para o caso ilustrado na simulação numérica, o modelo se mostrou bastante útil e eficaz, isso se aplica quando o modelo é bem utilizado e, principalmente, quando o decisor está certo em relações aos seus objetivos e suas preferências.

Palavras-chave: drenagem urbana, modelo de apoio à decisão, técnicas compensatórias de drenagem urbana.

ABSTRACT

The emergence of urban flooding is a problem that has worsened with each passing winter. They are constant the emergencies due to flooding in large cities and this has worsened with increasing urbanization. The increase in buildings, waterproofing the urban space and consequently reducing the infiltration capacity of soil water has increased the production of runoff. The existing drainage systems in cities, in most cases do not include the extra superficial volume produced and, as the rainwater cannot flow through the drainage systems, and up accumulating in the streets causing drainage problems. In this sense, this work aims at developing a decision support model for prioritization of compensatory measures for the control of urban flooding. Thus, criteria were defined to evaluate potential alternatives under the following aspects: environmental, social, economic and hydrological. The proposed model is able to support the process of decision, evaluating the preference of the decision maker through functions and weights assigned to each criterion, allowing alternatives to be evaluated more refined way possible. The decision support method chosen to give support modeling was the multicriteria method PROMETHEE I, which enables the construction of a preference relation by comparing pairwise providing as a result of partial pre-order alternatives. To illustrate the model was carried out a numerical simulation that allowed us to analyze the preference of the decision maker in relation to four alternatives (A1 - infiltration trenches, A2 - permeable pavement, A3 - infiltration pit, and A4 - individual reservoir), where the alternative A1 obtained the best performance. For the case illustrated in the numerical simulation, the model proved quite useful and effective, this applies when the model is well used and, especially, when the decision maker is right in relationship to their goals and preferences.

Keyword: urban drainage, decision support model, compensatory techniques for urban drainage.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA	2
1.2	OBJETIVOS.....	3
1.3	METODOLOGIA	3
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
2	INUNDAÇÕES URBANAS	6
2.1	SISTEMA DE DRENAGEM	10
2.2	MEDIDAS PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÕES	11
2.2.1	<i>Técnicas compensatórias não-estruturais em drenagem urbana.....</i>	<i>12</i>
2.2.2	<i>Técnicas compensatórias estruturais em drenagem urbana</i>	<i>13</i>
3	DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	22
3.1	APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO	22
3.1.1	<i>Atores do processo de decisão</i>	<i>23</i>
3.1.2	<i>Ações.....</i>	<i>24</i>
3.1.3	<i>Estruturas de preferência.....</i>	<i>25</i>
3.1.4	<i>Critérios</i>	<i>28</i>
3.1.5	<i>Problemáticas</i>	<i>29</i>
3.2	MÉTODOS MULTICRITÉRIOS.....	30
3.2.1	<i>ELECTRE.....</i>	<i>31</i>
3.2.2	<i>PROMETHEE</i>	<i>33</i>
3.3	UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS MULTICRITÉRIOS EM RECURSOS HÍDRICOS.....	35
4	PROPOSTA DO MODELO	37
4.1	INSPEÇÃO PRELIMINAR	38
4.2	INSPEÇÃO DETALHADA	38
4.3	DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL.....	39
4.4	LEVANTAMENTO DAS POSSÍVEIS ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO.....	39
4.5	IDENTIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	40
4.6	ESCOLHA DO MÉTODO MULTICRITÉRIO	43
4.7	DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS E DEMAIS PARÂMETROS.....	43
4.8	MATRIZ DE AVALIAÇÃO	44
4.9	RESULTADO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	44
5	SIMULAÇÃO NUMÉRICA	45

5.1	APLICAÇÃO DO MODELO.....	45
5.2	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	53
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
6	CONCLUSÕES	57
6.1	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	58
	REFERÊNCIAS.....	59

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE INUNDAÇÃO (TUCCI, 2008).....	6
FIGURA 2.2 – (A) CENÁRIO NÃO URBANIZADO (B) CENÁRIO URBANIZADO (TUCCI, 2006).....	7
FIGURA 2.3 – REPRESENTAÇÃO DO HIDROGRAMA DE ÁREAS URBANIZADA E NÃO URBANIZADA (TUCCI, 2008).....	8
FIGURA 2.4 – PROCESSOS DECORRENTES DA URBANIZAÇÃO (HALL, 1984 APUD TUCCI ET AL., 2009).....	9
FIGURA 2.5 – ESQUEMAS DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO E DETENÇÃO (BAPTISTA ET AL., 2005).....	17
FIGURA 2.8 – CAMADAS DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS (URBONAS & STAHRE, 1993)	19
FIGURA 4.1 – FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA O PROBLEMA	37
FIGURA 4.2 – FLUXOGRAMA DA DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS POTENCIAIS.....	40
FIGURA 5.1 – FLUXO DE SOBRECLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS	53
FIGURA 5.2 – FLUXO DE SOBRECLASSIFICAÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA VARIAÇÃO DE +15%.....	54
FIGURA 5.3 – FLUXO DE SOBRECLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA VARIAÇÃO DE -15%.....	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – NÍVEIS DE PREFERÊNCIA PARA O SUBCRITÉRIO IMPACTO NA QUALIDADE DE ÁGUA	48
TABELA 2 – NÍVEIS DE PREFERÊNCIA PARA O SUBCRITÉRIO SUSTENTABILIDADE	48
TABELA 3 – NÍVEIS DE PREFERÊNCIA PARA O SUBCRITÉRIO RISCO À SAÚDE DA POPULAÇÃO	48
TABELA 4 – NÍVEIS DE PREFERÊNCIA PARA O SUBCRITÉRIOS ACEITAÇÃO DA SOCIEDADE	49
TABELA 5 – CRITÉRIO ECONÔMICO.....	49
TABELA 6 – NÍVEIS DE PREFERÊNCIA PARA O SUBCRITÉRIO VAZÃO DE PICO	50

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 – CLASSIFICAÇÃO DO SOLOS EM RELAÇÃO A TAXA DE INFILTRAÇÃO MÍNIMA (SCS, 1972).....	14
QUADRO 2.2 – TAXA DE INFILTRAÇÃO MÍNIMA DE DIFERENTES SOLOS (SCS, 1972)	15
QUADRO 2.3 – ORDEM DE GRANDEZA DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (MUSY & SOUTTER, 1991 APUD BAPTISTA ET AL., 2005)	15
QUADRO 3.1 – SITUAÇÕES BÁSICAS DE PREFERÊNCIA (ROY, 1996)	26
QUADRO 3.2 – FORMAS PARA AS FUNÇÕES DE PREFERÊNCIA (ADAPTADO DE VINCKE, 1992 E ALMEIDA, 2010)	33
QUADRO 4.1 – FORMULÁRIO PROPOSTO PARA O DIAGNÓSTICO	39
QUADRO 5.1 – DIAGNÓSTICO DA ÁREA QUE APRESENTA PROBLEMA DE DRENAGEM.	46
QUADRO 5.2 – PESOS DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS.....	50
QUADRO 5.3 – MATRIZ DE AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS	51
QUADRO 5.4 – TRANSFORMAÇÃO DE ESCALAS.....	51
QUADRO 5.5 – CONVERSÃO DE ESCALA PARA A AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS.....	52
QUADRO 5.6 – CÁLCULO DOS FLUXOS	52
QUADRO 5.7 – CÁLCULO DOS FLUXOS PARA VARIAÇÃO DE +15%	54
QUADRO 5.8 – CÁLCULO DOS FLUXOS PARA VARIAÇÃO DE -15%.....	55

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o mundo vem enfrentando diversos problemas relacionados a inundações, fatores como o acelerado crescimento populacional nos centros urbanos, sistemas de drenagem ineficientes ou falta de manutenção das redes existentes, entre outros, associados às incertezas dos eventos hidrológicos tem contribuído para a ocorrência de frequentes inundações.

Devido aos impactos na qualidade de vida dos indivíduos, às perdas socioeconômicas e aos impactos no meio ambiente, o problema de inundações nos grandes centros urbanos tem se tornado uma preocupação constante para a sociedade e principalmente para o poder público, que é cobrado e pressionado pela população para adotar medidas que evitem as inundações.

Diante deste problema, observa-se que muitas das ações adotadas pelo poder público para o controle de inundações incluem medidas do tipo estrutural, ou seja, obras de engenharia.

Os sistemas de drenagem são obras essenciais para a prevenção e controle de inundações, por isso é preciso planejá-los de forma que os mesmos acompanhem o desenvolvimento e crescimento da cidade. O estudo de fenômenos hidrológicos, da topografia, da hidráulica, é de fundamental importância no dimensionamento de sistemas de drenagem, para que estes possam comportar a carga de água a que serão submetidos durante sua vida útil. Assim, os planejadores dos sistemas devem ter um vasto conhecimento sobre os sistemas a serem adotados inclusive porque cada bacia tem suas próprias características e as soluções podem ser variadas para cada uma delas.

Porém, há também outras medidas que auxiliam na prevenção de inundações que são chamadas de medidas não-estruturais. Estas visam à convivência harmônica das pessoas com o rio, reduzindo prejuízos e impactos causados nos períodos de inundações.

Vale ressaltar que, no controle de inundações, as medidas estruturais além de serem economicamente insustentáveis, causam muitos impactos ambientais e sociais. Por isso, as ações para o controle de inundações não devem se restringir apenas a medidas do tipo estrutural, devem também incluir medidas do tipo não-estrutural, que além de ter caráter preventivo contribuem para o desenvolvimento sustentável. Portanto, deve haver uma combinação de medidas estruturais e não-estruturais que permita à população minimizar suas perdas e manter uma convivência harmônica com o ambiente.

Diante do exposto, observa-se que o ambiente decisório no controle de inundações envolve diversos fatores (incertezas dos eventos hidrológicos, aspectos econômicos e sociais, a preservação do meio ambiente, aspectos culturais e estéticos e outros fatores subjetivos) que afetam nas decisões e ações tomadas de maneira que pode haver conflitos entre os objetivos, o que torna o processo de decisão complexo. Por isso o processo decisório neste meio requer uma análise mais flexível e que possa garantir o planejamento do uso, o controle e a proteção do sistema de drenagem.

No processo de tomada de decisão é importante que o decisor esteja munido de métodos que apoiem à decisão e permitam a priorização das alternativas, além de poder analisar as alternativas por meio de vários aspectos. Neste sentido, os métodos multicritério de apoio à decisão auxiliam na tomada de decisão dando um tratamento qualificado ao problema procurando sempre a escolha da alternativa de melhor compromisso, atendendo ao máximo de critérios pré-estabelecidos, objetivando o melhor desempenho do sistema e minimizando os efeitos das inundações nos centros urbanos.

1.1 Justificativa

Os prejuízos devido às inundações nas cidades brasileiras têm aumentado substancialmente: perdas humanas e materiais, interrupção de atividade econômica das regiões inundadas, contaminação por doenças de veiculação hídrica (leptospirose, cólera, etc), aumento da produção de sedimentos, degradação da qualidade da água, contaminação dos aquíferos, entre outros (IPH, 2005).

Esse processo é decorrente principalmente da grande urbanização e redução de cobertura vegetal, o que acarreta na impermeabilização do solo, reduzindo o processo natural de infiltração da água e, portando, aumentando o escoamento superficial (ALCOFORADO & CIRILO, 2001).

Desse modo, Tucci *et al.* (1995) afirmam que as obras de drenagem se tornaram as principais ferramentas utilizadas pelo poder público para mitigar os problemas de inundações. Porém, verifica-se que algumas regiões, mesmo possuindo um sistema de drenagem, ainda sofrem com constantes perdas devido à ocorrência de inundações. Isso acontece devido, principalmente, às obras de drenagem serem realizadas sob uma visão local, sem uma percepção geral da bacia, potencializando apenas alguns problemas localizados e gerando, muitas vezes, mais impactos do que os existentes, além de desperdiçar recursos. Como

também, a falta de conhecimento técnico por parte dos profissionais e o limitado conhecimento dos decisores sobre o assunto contribuem para agravar o problema (TUCCI *et al.*, 1995).

Vale ressaltar que apesar da grande importância das obras de drenagem clássica, elas nem sempre são as melhores soluções no controle de inundações, daí a necessidade de se estudar e potencializar a implementação de medidas alternativas, principalmente em regiões de alto risco e que não há recursos financeiros para investimento em obras.

Neste contexto, torna-se evidente a necessidade e importância de se propor um modelo que sirva de apoio para o processo de planejamento de sistemas de drenagem e de seleção de alternativas para o controle das inundações urbanas, que incorpore aspectos técnicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais a fim de auxiliar na prevenção e controle de inundações.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um modelo de decisão para apoiar, de forma estruturada, os indivíduos/organizações envolvidos no processo de planejamento de sistemas de drenagem visando o controle de inundações urbanas.

Os objetivos específicos são:

- ✓ Sintetizar algumas técnicas utilizadas no controle de inundações urbanas.
- ✓ Identificar e selecionar critérios para avaliação de alternativas de controle de inundações urbanas.
- ✓ Identificar possíveis alternativas aplicáveis no controle de inundações urbanas.
- ✓ Propor um modelo de apoio à decisão para seleção de medidas de controle de inundações.

1.3 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho será baseado em três fases indicadas por Belton & Stewart (2002) na metodologia de apoio à decisão.

- ✓ Identificação e estruturação do problema: nesta fase são feitas algumas análises prévias, os atores envolvidos desenvolvem um entendimento comum do problema de decisão, das decisões que devem ser tomadas e dos critérios nos quais as decisões estão sendo julgadas e avaliadas.

- ✓ Construção e uso do modelo: nesta fase são identificados os objetivos, os valores de conflitos, as preferências, dentre outras características, para que possa ser feita comparações de maneira sistemática e transparente entre as ações ou alternativas.
- ✓ Desenvolvimento de planos de ações: nesta fase são desenvolvidos os possíveis planos de ações que poderão ser adotados. A análise não fornece a solução exata para o problema, apenas traduz planos de ações viáveis, tanto em termos técnicos e analíticos como em termos de apoio e compreensão na implementação das ações.

Assim baseado nessas fases, propôs-se um modelo de decisão a fim de auxiliar na priorização de alternativas para o controle de inundações urbanas constituído por 9 etapas: inspeção preliminar, inspeção detalhada, diagnóstico, levantamento de alternativas, definição de critérios, definição de pesos, escolha do método, matriz de avaliação e resultado.

A inspeção preliminar tem o objetivo de apenas identificar o problema de drenagem existente. A fase de inspeção detalhada é que irá permitir levantar dados mais específicos da região que apresenta o problema, sendo resumido e apresentado em forma de relatório na fase de diagnóstico do problema.

A partir do diagnóstico, passa-se a fase de solução do problema, ou seja, são levantadas as medidas que poderiam ser implantadas a fim de solucionar o problema e definido os critérios, escalas de avaliação e pesos para cada critério.

A etapa seguinte é a escolha do método a ser utilizado na modelagem, este deve ser escolhido baseado em uma série de fatores tais como o tipo de problemática, o conhecimento acerca do método, o tempo disponível para tomar a decisão, entre outros.

A penúltima fase é a construção da matriz que permite avaliar o desempenho das possíveis alternativas de solução face a cada critério estabelecido, sendo utilizado o procedimento de comparação par a par nesta avaliação baseado nos métodos de sobreclassificação (*outranking*).

E finalmente, a última fase é a análise do resultado, o modelo propõe uma ordenação das alternativas potencializadas, assim a alternativa que ficar em primeiro lugar é considerada a que teve o melhor desempenho frente à maioria dos critérios quando comparada as outras. Porém, isso não implica a obrigatoriedade da implantação desta alternativa, pois a essência dos métodos de apoio à decisão é fazer uma recomendação e não obrigar que os decisores implantem a alternativa que obteve melhor desempenho.

Análise de sensibilidade é uma etapa de suma importância numa modelagem de decisão, pois permite verificar o comportamento do modelo a partir de variações feitas em alguns

parâmetros, por exemplo, o peso dos critérios. A partir da análise de sensibilidade o decisor é capaz de identificar quais parâmetros devem ter uma avaliação mais refinada, ajustando seus valores e, conseqüentemente, fornecendo um resultado mais preciso ao decisor para o problema de decisão.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em seis capítulos da seguinte forma.

O capítulo 1 descreve uma breve introdução ao tema a ser desenvolvido, traz uma justificativa para o tema proposto, define os objetivos geral e específicos bem como a metodologia utilizada.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os temas que serão abordados no trabalho: causas e impactos gerados pelas inundações urbanas, medidas utilizadas para o controle de inundações.

No capítulo 3 encontra-se uma revisão bibliográfica sobre os conceitos básicos relacionados à abordagem multicritérios de apoio à decisão (atores, ações, estruturas de preferência, critérios e problemáticas), assim como, os métodos multicritérios: Teoria da Utilidade Multiatributo, Métodos de Sobreclassificação e Métodos Iterativos.

O capítulo 4 traz a formalização do modelo de decisão para seleção de medidas para o controle de inundações.

O capítulo 5 apresenta uma simulação numérica do modelo de apoio à decisão.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões do estudo e recomendações para trabalhos futuros.

2 INUNDAÇÕES URBANAS

Simons *et al.* (1977) definem uma inundação como sendo o resultado de um evento hidrológico extremo que faz a água fluir livremente e sem controle por uma planície de inundação. Essa planície de inundação compreende as regiões de baixa altitude junto ao curso do rio.

As inundações são processos naturais e o escoamento das águas pluviais existe independente de haver ou não um sistema de drenagem e, seu percurso dá-se pelas depressões topográficas e pelos canais naturais de forma desordenada (TUCCI *et al.*, 1995).

Tucci *et al.* (1995) atribuem dois processos como os principais causadores das inundações urbanas, que podem ocorrer isoladamente ou combinados, são eles:

- ✓ Inundação natural da várzea ribeirinha: as enchentes naturais do rio que extravasam o seu leito menor ocorrem, em média, a cada dois anos, ocupando o seu leito maior (planície de inundação). Porém, devido à ausência dessas inundações naturais por longos períodos de tempo, a população inicia o processo de ocupação do leito maior e quando ocorrem eventos chuvosos extremos esta região é atingida pelas inundações (Figura 2.1).
- ✓ Inundação devido à urbanização: o desenvolvimento urbano propicia a ocupação desordenada da bacia acarretando a impermeabilização do solo, dificultando a infiltração natural da água e consequentemente aumentando o escoamento superficial.

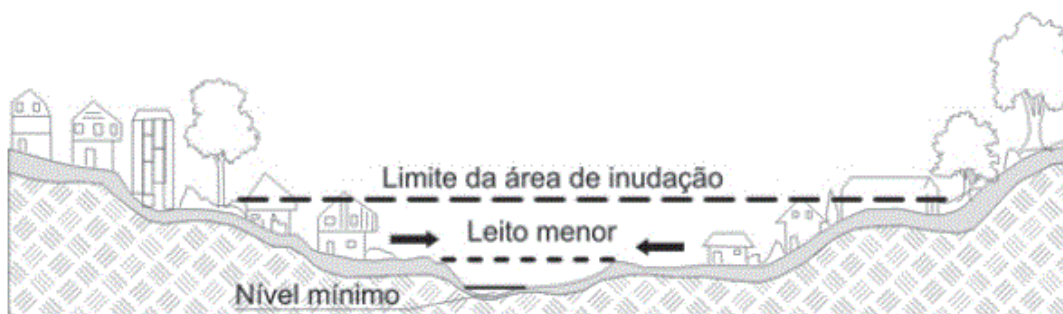


Figura 2.1 – Características da área de inundação (TUCCI, 2008)

Tucci *et al.* (1995) ainda listam outro tipo de ocorrência de inundações, que são as inundações localizadas. Estas podem ser provocadas devido a um estrangulamento da seção do rio (pela existência de aterros, pilares de pontes, assoreamento do leito do rio, lixo, etc); a um remanso provocado pela macrodrenagem, rio principal, lago, reservatório ou oceano; ou ainda ser provocadas por erros de execução e projeto de drenagem de rodovias, avenidas, etc.

Dentre esses três processos, pode-se destacar a urbanização como uma das causas mais preocupantes de inundações, pois ela interfere diretamente nas variáveis do ciclo hidrológico.

A impermeabilização devido à urbanização implica na redução da infiltração de água no solo e o volume que deixa de infiltrar fica retido na superfície contribuindo para o aumento do escoamento superficial. Além disso, o aquífero tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação, o que reduz o escoamento subterrâneo. Há também uma redução da evapotranspiração devido à mudança de cobertura do solo (a área de vegetação natural é substituída por áreas impermeáveis), ou seja, haverá um volume maior de água para ser drenada (TUCCI, 2006).

Como pode ser observado nas Figuras 2.2(a) e 2.2 (b), no cenário urbanizado cerca de 30% das águas pluviais é infiltrada e 25% é evapotranspirada, portanto dos 100% de precipitação cerca de 45% escoam superficialmente, que representa um percentual bastante significativo. Ou seja, se em um cenário não urbanizado somente 10% era escoado superficialmente, agora temos 35% a mais de água para drenar. Nesse sentido, baseado na ideia de que a melhor drenagem é aquela que “retira a água das ruas no menor intervalo de tempo” são construídas várias obras hidráulicas (canalização), que demandam alto investimento financeiro (TUCCI, 2006). Porém, essa ideia de canalizar toda a água pluvial pode ser perigosa sob dois pontos de vista. O primeiro é que estas obras quando submetidas a eventos chuvosos extremos muitas vezes não comportam a carga de água e ela acaba escoando pelas ruas acarretando alagamentos e/ou inundações. O segundo, e talvez o mais grave, é que ao canalizar toda a água que deixa de infiltrar ou evaporar, estamos apenas levando a água de um lugar para outro, ou seja, resolve-se o problema de quantidade de água em um determinado local, mas em compensação leva-se a esta mesma quantidade de água para a jusante. Além disso, a canalização contribui para o aumento da velocidade de escoamento, reduzindo o tempo de deslocamento, ou seja, a vazão máxima (vazão de pico) é atingida em menor tempo a jusante (CETESB, 1986).

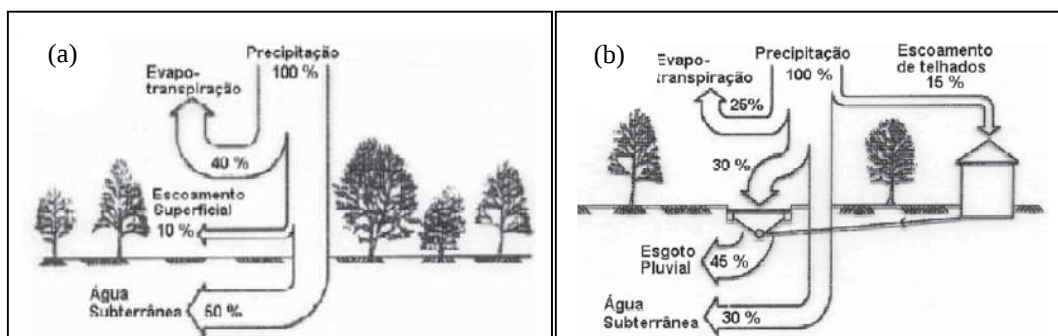


Figura 2.2 – (a) Cenário não urbanizado (b) Cenário urbanizado (TUCCI, 2006)

Assim, a urbanização influencia diretamente no tempo e na vazão de pico de uma cheia, como pode ser observado no hidrograma da Figura 2.3. Em uma área urbanizada verifica-se que há um aumento da vazão máxima e uma redução do tempo de pico, isso ocorre devido ao aumento de áreas impermeabilizadas que impede que a água se infiltre no solo (processo natural do ciclo hidrológico), e conseqüentemente elevando o escoamento superficial, fazendo com que a vazão máxima ($Q_{máx.1}$) seja atingida em menor tempo (t_1) e, agravando os problemas de inundações (TUCCI, 2008).

Já nas áreas não urbanizadas o tempo (t_2) para atingir a vazão máxima ($Q_{máx.2}$) é maior, pois durante o percurso de escoamento a água se infiltra, reduzindo assim a vazão máxima ($Q_{máx.2}$) e, portanto, amortecendo as inundações urbanas (TUCCI, 2008).

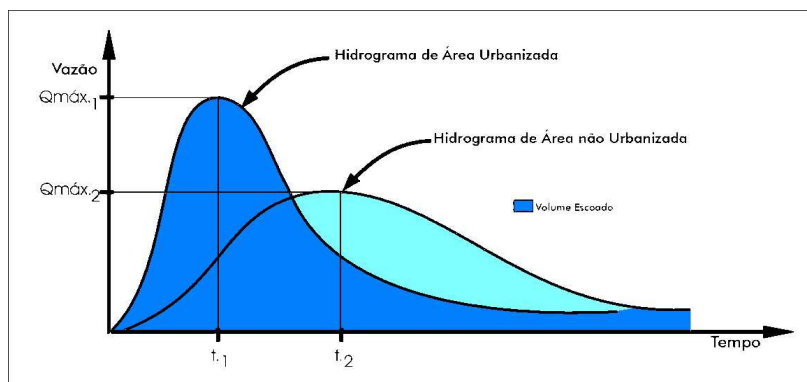


Figura 2.3 – Representação do hidrograma de áreas urbanizada e não urbanizada (TUCCI, 2008)

A Figura 2.4 apresenta a relação dos vários processos que ocorrem numa bacia urbanizada.

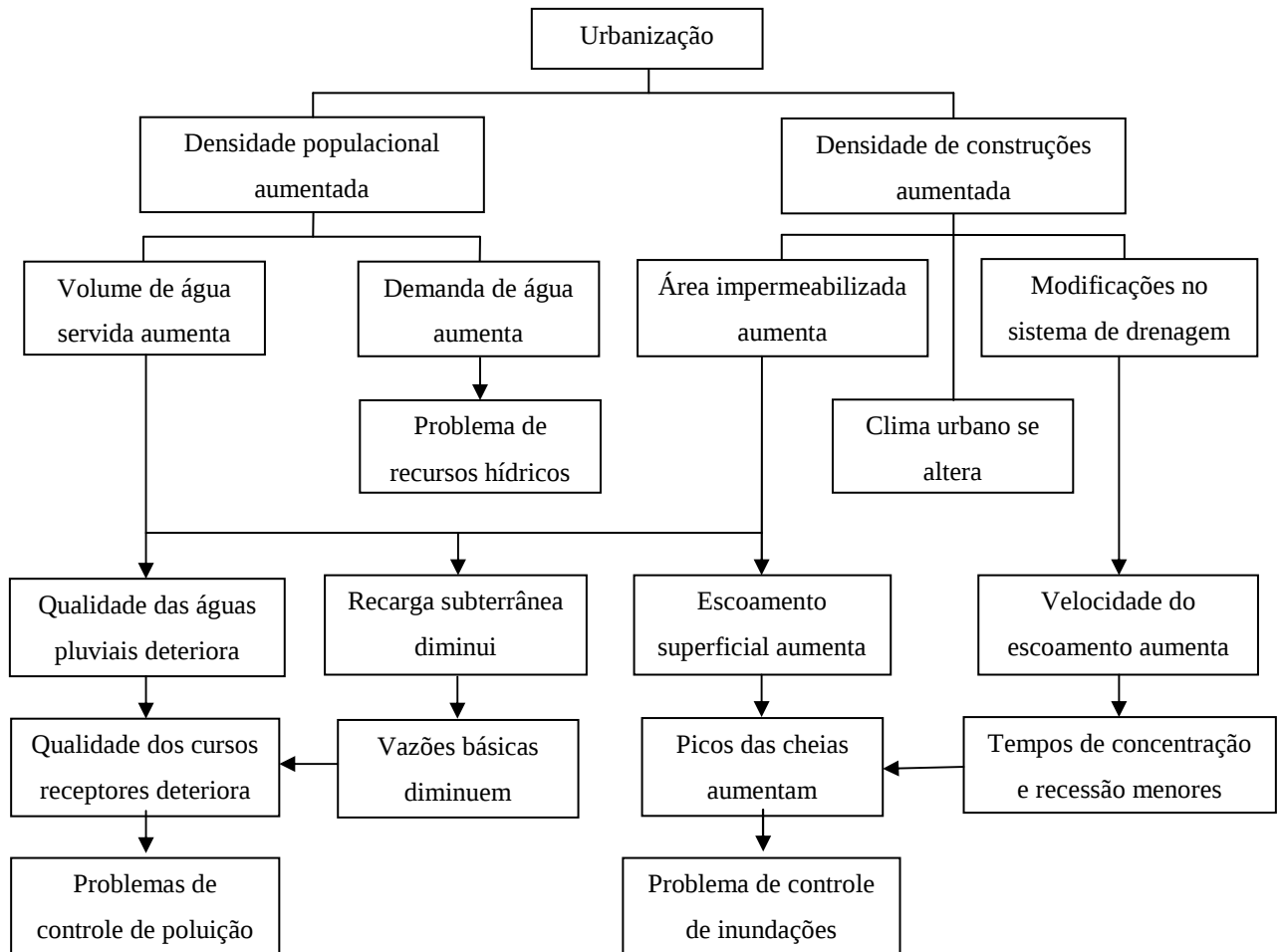


Figura 2.4 – Processos decorrentes da urbanização (HALL, 1984 apud TUCCI et al., 2009)

Seja qual for a causa das inundações urbanas é evidente que elas geram consequências e impactos que atingem diversas esferas, tais como: social, econômico e ambiental. Destacam-se (IPH, 2005; TUCCI et al., 1995; TUCCI et al., 2009):

- ✓ As perdas materiais e humanas.
- ✓ Interrupção de atividade econômica das regiões inundadas.
- ✓ Contaminação por doenças de veiculação hídrica (leptospirose, cólera, etc).
- ✓ Contaminação da água pela inundação de depósitos de material tóxico, estações de tratamento, etc.
- ✓ Contaminação dos aquíferos devido à infiltração da água contaminada principalmente pelos aterros sanitários e fossas sépticas.
- ✓ Redução no nível do lençol freático devido à redução de infiltração de água no solo.

- ✓ Aumento da temperatura devido à impermeabilização por concreto e asfalto da superfície absorvendo parte da energia solar.
- ✓ Aumento da produção de sedimentos, provocados pela erosão do solo, que pode assorear o sistema de drenagem reduzindo a capacidade de escoamento dos condutos e rios. Além disso, os sedimentos podem agregar poluentes que podem contaminar a água pluvial.
- ✓ Degradação da qualidade da água, que está relacionada com as cargas poluidoras de origem doméstica. Apesar de na maioria do Brasil se usar o sistema separador absoluto (duas redes distintas, uma para o esgoto doméstico e industrial e outra para coleta de águas pluviais), em algumas áreas ainda se verifica o uso do sistema de esgoto unitário (captam o esgoto e as águas pluviais num mesmo conduto).

2.1 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem constitui-se em uma medida de caráter preventivo e faz parte de um conjunto de melhorias públicas existentes no perímetro urbano, assim como outros sistemas: o sistema de abastecimento de água, sistema de esgoto, sistema de iluminação, etc (CETESB, 1986; TUCCI *et al.*, 1995).

O sistema de drenagem consiste em instalações destinadas a canalizar parte das águas pluviais conduzindo-a até um destino final, evitando, assim, que a grande quantidade de água escoada livremente represente riscos à saúde, segurança e bem estar da sociedade. Por isso é conveniente que seja projetado de forma integrada com os outros sistemas urbanos, pois quando o sistema de drenagem não é considerado desde o início da formulação do planejamento urbano, é provável que ao ser projetado esse sistema se revele de alto custo e ineficiente (CETESB, 1986).

Numa visão clássica o sistema de drenagem pode ser dividido em 2 componentes distintos (CETESB, 1986):

- *O sistema de microdrenagem*

Consiste num sistema de condutos a nível de loteamento responsável pela captação e condução das águas pluviais provenientes de áreas urbanizadas (pequenas vazões) até o sistema de macrodrenagem. É composto por: sarjetas, sarjetões, bocas de lobo e galerias. Onde:

- Sarjetas: são faixas paralelas ao meio fio que conduzem a água que cai nas ruas.

- Sarjetões: calhas ou “rasgões” nos cruzamentos das ruas destinados a orientar o fluxo das águas para as sarjetas.

- Bocas de lobo: responsáveis por receber parte das águas que escoam nas sarjetas e conduzi-las para as galerias.

- Galerias: canalizações destinadas a conduzir a água das bocas de lobo e outras ligações para pequenos rios, riachos ou ribeirões (que compõem o sistema de macrodrenagem).

- *O sistema de macrodrenagem*

Consiste num sistema a nível de bacia responsável pela drenagem de vazões mais significativas provenientes do sistema de microdrenagem e de outras áreas não urbanizadas. São constituídos por canais abertos ou condutos enterrados de grande porte.

Devido ao intenso processo de urbanização na segunda metade do século XX, foram observadas algumas limitações dos sistemas clássicos de drenagem urbana, o que fez com que surgissem novas formas de tratar o problema das inundações. Nesta nova abordagem o manejo de águas pluviais é tratado em conjunto com o ordenamento urbano, a partir de práticas denominadas tecnologias alternativas ou compensatórias (sistema de drenagem urbana alternativo). As técnicas compensatórias em drenagem urbana baseiam-se, essencialmente, na retenção e infiltração das águas, visando o rearranjo temporal das vazões e, eventualmente, a diminuição do volume escoado, o que reduz a probabilidade de inundações (BAPTISTA *et al.*, 2005).

2.2 Medidas para o controle de inundações

Para Simons *et al.* (1977), de maneira geral, o controle de inundações é definido como um conjunto de todas as medidas físicas ou não, que permitem que a população habite a planície de inundação de forma que possam conviver harmonicamente com eventos naturais extremos, minimizando as dificuldades na medida do possível.

A visão clássica da drenagem urbana preconizava a retirada da água o mais rápido possível das ruas como medida de saúde pública, período que ficou conhecido como higienista. Nesse sentido os sistemas de drenagem foram concebidos formando uma malha de condutos coletores e transportadores de águas pluviais até um ponto de deságue. Porém, com o passar do tempo, observou-se a limitação desses sistemas clássicos de drenagem, que transferia o problema de inundação para a jusante (BAPTISTA *et al.*, 2005).

Contudo, na busca da população em se proteger contra as cheias urbanas, evitando o redimensionamento do sistema de drenagem, surgiu a partir da década de 70 na Europa e

América do Norte, a ideia de se restabelecer as vazões de pré-desenvolvimento a partir de dispositivos que propiciavam a retenção e infiltração das águas precipitadas antes de atingir a rede de drenagem, a partir de mecanismos denominados estruturas alternativas ou técnicas compensatórias de drenagem (ALVES & COSTA, 2007).

- ***Técnicas compensatórias em drenagem urbana***

Segundo Baptista *et al.* (2005), as técnicas compensatórias em drenagem urbana podem assumir um caráter estrutural e não-estrutural. O intuito das técnicas compensatórias não-estruturais é o de reduzir as perdas causadas pelas inundações por meio de medidas de gestão e educação ambiental. Já as técnicas compensatórias estruturais partem do princípio de utilizar soluções que retenham ou facilitem a infiltração da água no solo.

2.2.1 Técnicas compensatórias não-estruturais em drenagem urbana

As técnicas não-estruturais são aquelas que têm seus prejuízos reduzidos devido à convivência harmônica da população com as enchentes utilizando medidas preventivas, ou seja, envolvem medidas que não interferem nas características físicas do meio ambiente, são: as medidas de regulamentação do uso do solo e/ou zoneamento das áreas de risco, definição de padrões de construção à prova de enchentes, seguros e ações de defesa civil (previsão e alerta) (TUCCI *et al.*, 1995).

Andrade Filho *et al.* (2000) agrupam as medidas do tipo não-estruturais em:

- ✓ Regulamento do uso do solo: é um conjunto de regras que é definido para a ocupação das áreas de maiores riscos a inundações. Esta medida consiste no mapeamento de áreas susceptíveis a inundações dentro da delimitação de cheia de 100 anos ou a maior registrada, a partir do qual é definida a área de inundação de acordo com o risco. O zoneamento da região depende de vários fatores, dentre os quais: topografia, caminho do escoamento da água e tipo de ocupação da área.
- ✓ Construções à prova de enchentes: são medidas adotadas para reduzir perdas de construções localizadas em área de risco de inundações.
- ✓ Seguro de enchente: funciona como qualquer outro seguro, o proprietário de uma construção localizada em área risco paga um seguro e caso sofra alguma perda devido a enchentes é indenizado. Apesar da ideia de atenuação de perdas devido às inundações, esta é uma medida difícil ser implantada, visto que muitas das seguradoras teriam receio de aderir à proposta.

- ✓ Previsão e alerta de inundações: visa se antecipar à ocorrência de inundações, para que as medidas para reduzir os prejuízos sejam tomadas em tempo hábil. O sistema de previsão e alerta envolve a coleta e a transmissão de informações de tempo e hidrológicas para os centros de previsão, onde serão processados e construídos modelos matemáticos de previsão para alertar a população sobre a ocorrência de futuras inundações a fim de que possam ser tomadas medidas para reduzir os prejuízos causados pelas inundações. Essas atividades são realizadas em parceria com a Defesa Civil da região.

Seok-Jin Kang *et al.* (2009) afirmam que para que as técnicas não-estruturais sejam eficazes deve haver um determinado esforço e colaboração dos moradores das áreas de risco, bem como das autoridades governamentais. Isso deve ocorrer porque as técnicas não-estruturais por si só não garantem a sua eficácia, e os moradores de áreas de risco de inundações devem estar familiarizados com essas técnicas para que possam lidar eficazmente com a ocorrência repentina de desastres, minimizando perdas e danos.

2.2.2 Técnicas compensatórias estruturais em drenagem urbana

De acordo com Baptista *et al.* (2005), as técnicas compensatórias estruturais podem ser classificadas de duas maneiras distintas. A primeira é em relação ao princípio básico de seu funcionamento, que podem ser de infiltração ou retenção, ou ainda pode ocorrer uma combinação dos dois modos de funcionamento em uma única estrutura. Outra classificação é em relação ao posicionamento de implantação do dispositivo. Assim, podem ser identificadas como: técnicas para controle na fonte, técnicas lineares e técnicas para controle centralizado.

As técnicas para controle na fonte são associadas a pequenas superfícies de drenagem, são exemplos: poços de infiltração, valas ou valetas de retenção e/ou infiltração, micro-reservatórios individuais e telhados armazenadores (BAPTISTA *et al.*, 2005).

As técnicas compensatórias lineares apresentam uma dimensão longitudinal significativa em comparação a sua largura e profundidade. Elas são implantadas geralmente em pátios, estacionamentos e arruamentos. Incluem-se nesse grupo os pavimentos porosos (com ou sem dispositivos de infiltração), valas de retenção e/ou infiltração e trincheiras de infiltração (BAPTISTA *et al.*, 2005).

As técnicas para controle centralizado como o próprio nome já diz, trata-se de medidas que podem ser utilizadas em uma parcela do terreno, ou seja, ocupam espaços reduzidos (localizados), drenando superfícies de pequeno a médio porte. Correspondem às bacias de

detenção que armazenam águas por períodos curtos a fim de controlar as inundações e bacias de retenção que armazenam águas por longos períodos a fim de reduzir cargas de poluição difusa (BAPTISTA *et al.*, 2005).

Antes de descrever algumas das técnicas compensatórias é importante que sejam feitas algumas considerações. A primeira é em relação ao solo e sua capacidade de permeabilidade. Quando se potencializa o uso de técnicas compensatórias baseadas na infiltração é necessário que o solo apresente um coeficiente de permeabilidade significativo, pois quanto mais permeável o solo, melhor o desempenho/eficiência dessas técnicas. Assim, se o solo tiver um grau baixo ou nulo de permeabilidade, as técnicas de infiltração não poderão ser incluídas no conjunto de alternativas para solucionar o problema de drenagem.

Diante disto, é essencial que o solo da região seja avaliado e classificado em relação a sua permeabilidade. A seguir serão apresentados alguns métodos que podem ser utilizados na avaliação.

Método Curve Number

O método Curve Number desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS, 1972) é muito conhecido e utilizado para estimar o escoamento superficial a partir de eventos chuvosos, e consequentemente, fluxo de rios, recarga de água, infiltração, umidade do solo e transporte de sedimentos, sendo bastante útil em projetos hidráulicos. O método classifica o solo baseando-se na entrada de água considerando as condições antecedentes de pleno umedecimento ao final de chuvas de longa duração e sem influência de cobertura vegetal. Assim, são definidos 4 grupos de acordo com a composição do solo (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Classificação do solos em relação a taxa de infiltração mínima (SCS, 1972)

Tipo A	Baixo potencial de deflúvio	Terrenos muito permeáveis, solo arenosos profundos com pouco silte e argila. Incluem-se também os depósitos siltosos profundos de origem eólica, com grande permeabilidade.
Tipo B	Capacidade de infiltração acima da média após o umedecimento	Constituem-se pela maior parte dos solos arenosos menos profundos que os solos do Tipo A, e depósitos siltosos menos profundos e menos agregados que o Tipo A.
Tipo C	Capacidade de infiltração abaixo da média, após pré-saturação.	Incluem os solos rasos e solos com uma considerável fração de argila e partículas coloidais.
Tipo D	Alto potencial de deflúvio	Incluem a maioria das argilas de grande dilatação. No tipo D incluem-se também alguns solos rasos com sub-horizontes quase impermeáveis próximos à superfície. Terrenos quase impermeáveis juntos à superfície

Outra forma de classificar o tipo de solo em relação à permeabilidade é medindo a taxa de infiltração através de ensaios *in situ* (SCS, 1972). Assim, cada faixa de valores para a taxa de infiltração deverá determinar um tipo de solo (Quadro 2.2).

Quadro 2.2 – Taxa de infiltração mínima de diferentes solos (SCS, 1972)

Grupo	Taxa de infiltração mínima (polegadas/h)
A	0,30 – 0,45
B	0,15 – 0,30
C	0,05 – 0,15
D	0 – 0,05

Condutividade hidráulica

A capacidade de infiltração também pode ser avaliada baseando-se na condutividade hidráulica do solo. Musy & Soutter (1991) *apud* Baptista *et al.* (2005) apresentam a ordem de grandeza da condutividade hidráulica para diferentes solos (Quadro 4.3). É importante destacar que ensaios *in situ*, como na maioria dos casos, são indispensáveis na fase de estudo de viabilidade do projeto.

Quadro 2.3 – Ordem de grandeza da condutividade hidráulica (MUSY & SOUTTER, 1991 *apud* BAPTISTA *et al.*, 2005)

K (m/s)	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Tipo de solo	Seixos sem areia nem elementos finos		Areia com seixos Areia grossa a fina		Areia muito fina Silte grosso a silte argiloso			Argila siltosa a argila homogênea			
Possibilidade de infiltração	Excelente		Boa		Média a baixa			Baixa a nula			

Além da capacidade de permeabilidade do solo, outro aspecto importante que deve ser levado em consideração inicialmente é a que nível o lençol freático se encontra. Pois, caso o lençol freático esteja a uma profundidade próxima à superfície do terreno, as estruturas de infiltração podem facilitar a contaminação do lençol pelas águas pluviais que “varrem” a cidade carregando impurezas. Feita essas considerações, a seguir são descritas algumas técnicas compensatórias.

Bacias de Detenção/Retenção

As bacias de detenção e de retenção são reservatórios com finalidade de armazenar águas pluviais quando da ocorrência de chuvas intensas. Possuem as funções de amortecimento de vazões de cheias, redução de escoamento superficial e redução da poluição de origem pluvial. Comumente distinguem-se as bacias de detenção das bacias de retenção de acordo com a estocagem ou não de água no reservatório. Assim, as bacias de detenção são aquelas projetadas para reter a água pluvial temporariamente, enquanto é drenada para outro local, e as bacias de retenção são aquelas projetadas para manter uma determinada quantidade de água por tempo indeterminado (lâmina de água permanente). Baseado em outros critérios Baptista *et al.* (2005) classificam as bacias, quanto a sua forma, em:

1. Bacias a céu aberto

As bacias a céu aberto podem ser implantadas em qualquer local desde que haja espaço suficiente, suas dimensões podem variar bastante e são classificadas em:

- Bacias a céu aberto com espelho d'água permanente
- Bacias secas: armazenam água apenas durante as chuvas e podem ser:
 - Bacias com fundo impermeabilizado: geralmente são utilizados quando há risco de contaminação das águas subterrâneas.
 - Bacias de infiltração: são bacias dimensionadas de tal forma que toda a água retida seja infiltrada no solo.
- Bacias de zonas úmidas: são áreas úmidas artificialmente construídas semelhante a várzeas, armazenam água em pequena profundidade e grandes extensões.

2. Bacias Subterrâneas ou cobertas

São instalações realizadas principalmente em locais densamente urbanizados cujo não existe espaço para utilização de bacias a céu aberto.

As bacias podem também receber outras denominação baseadas nas suas funções hidrológicas:

a) Bacias de tempestades

São bacias destinadas a armazenar provisoriamente parte ou todo escoamento a montante durante um evento chuvoso em seguida o volume armazenado é enviado para uma estação de tratamento, evitando assim que se extravase para meios receptores.

b) Bacias de decantação

São bacias com função de decantar sedimentos em sistemas separadores de drenagem.

c) Bacias de retenção propriamente ditas

Desempenham as funções principais de uma bacia que são a de amortecimento de cheias e controle de poluição de origem pluvial.

Uma característica importante das bacias é a sua multifuncionalidade. Como já foi visto as bacias de retenção são concebidas com a finalidade de controle de inundações, porém, não se pode ignorar o fato de algumas bacias possuírem também funções de lazer, paisagística ou reserva ecológica.

Trincheiras de infiltração e retenção

As trincheiras podem ser de infiltração e/ou retenção, de modo geral, são dispositivos que apresentam largura e profundidade reduzida, ao contrário das dimensões longitudinais. As trincheiras de infiltração permitem o armazenamento temporário das águas pluviais até que elas se infiltrem no solo. Já as trincheiras de retenção armazenam as águas pluviais, que são liberadas por um dispositivo de descarga para um exutório.

Enquanto as trincheiras de infiltração têm o objetivo de reduzir o escoamento superficial, as trincheiras de retenção têm o objetivo de rearranjar temporalmente as vazões. As trincheiras geralmente são preenchidas por material granular com porosidade em torno de 40%, e revestidos por um geotêxtil que impede a entrada de finos no dispositivo, reduzindo o risco de colmatagem precoce, além de evitar a contaminação de aquíferos. Já as trincheiras de retenção devem ser revestidas de material impermeável para garantir sua estanqueidade (SOUZA & GOLDENFUM, 1999). Os esquemas das trincheiras de infiltração e retenção podem ser encontrados na Figura 2.5.

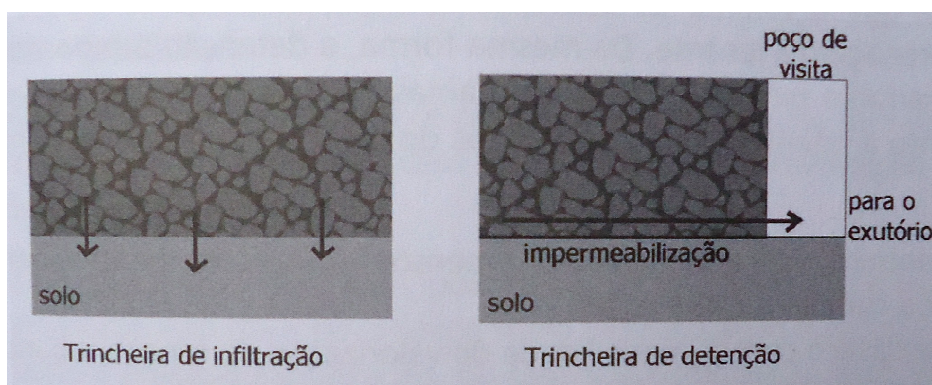


Figura 2.5 – Esquemas de trincheiras de infiltração e retenção (BAPTISTA et al., 2005)

Valas, valetas e planos de retenção e infiltração

As valas, valetas e planos de retenção ou infiltração são constituídos por escavações formando depressões no solo, com a função de receber as águas pluviais, armazenando temporariamente e/ou favorecendo sua infiltração.

Quando as estruturas possuem as dimensões longitudinais significativamente maiores que as dimensões transversais são denominadas valas e valetas, quando as dimensões longitudinais não forem muito maiores que as dimensões transversais e as profundidades definem-se os planos.

Pavimentos permeáveis

Em grandes cidades, é comum a utilização de pavimentos impermeáveis em sistemas viários e estacionamentos ocupando, assim, uma extensa área urbana. A impermeabilidade decorrente dessas estruturas contribui para um aumento significativo do escoamento superficial, gerando problemas de inundações nas cidades. Neste sentido, visando minimizar os efeitos das inundações surgiram os pavimentos permeáveis que têm as funções de armazenamento temporário e redução de volume escoado superficialmente.

A água pode ficar armazenada no corpo do pavimento, através de drenos difusores acoplados ao sistema de drenagem (injeção localizada) ou através da infiltração direta pelo pavimento (injeção distribuída). A evacuação do dispositivo pode ser por infiltração direta no solo ou descarga na rede de drenagem.

A partir do princípio de funcionamento, os pavimentos permeáveis foram classificados em (BAPTISTA *et al.*, 2005):

- Pavimentos com revestimento superficial permeável: permitem a infiltração da água a camadas mais profundas do pavimento, reduzindo o volume escoado superficialmente.
- Pavimentos com estrutura porosa de retenção: desempenham apenas o papel de armazenamento temporário (reservatório) com descarga localizada e podem se subdividir em:
 - Pavimentos com estrutura porosa de retenção com injeção localizada quando utilizado revestimento impermeável.
 - Pavimentos com estrutura porosa de retenção com injeção direta/distribuída quando utilizado revestimento permeável.

- Pavimentos com estrutura porosa de infiltração: desempenham o papel de armazenamento temporário e de infiltração, e podem se subdividir em:
 - Pavimentos com estrutura porosa de infiltração com injeção localizada quando utilizado revestimento impermeável.
 - Pavimentos com estrutura porosa de infiltração com injeção direta/distribuída quando utilizado revestimento permeável.

Quanto ao material empregado Urbonas & Stahre (1993) distinguem os pavimentos permeáveis em 3 tipos de estrutura (Figura 2.8):

- Pavimento de asfalto poroso: construído semelhante aos pavimentos convencionais, retirando-se a fração de areia fina da mistura dos agregados.
- Pavimento de concreto poroso: construído semelhante aos pavimentos convencionais, retirando-se a fração de areia fina da mistura dos agregados.
- Pavimento de blocos de concreto vazado preenchido com material granular ou vegetação rasteira: os blocos devem ser assentados em cima de uma camada granular permeável, colocando-se um filtro geotêxtil para prevenir a colmatagem do dispositivo.

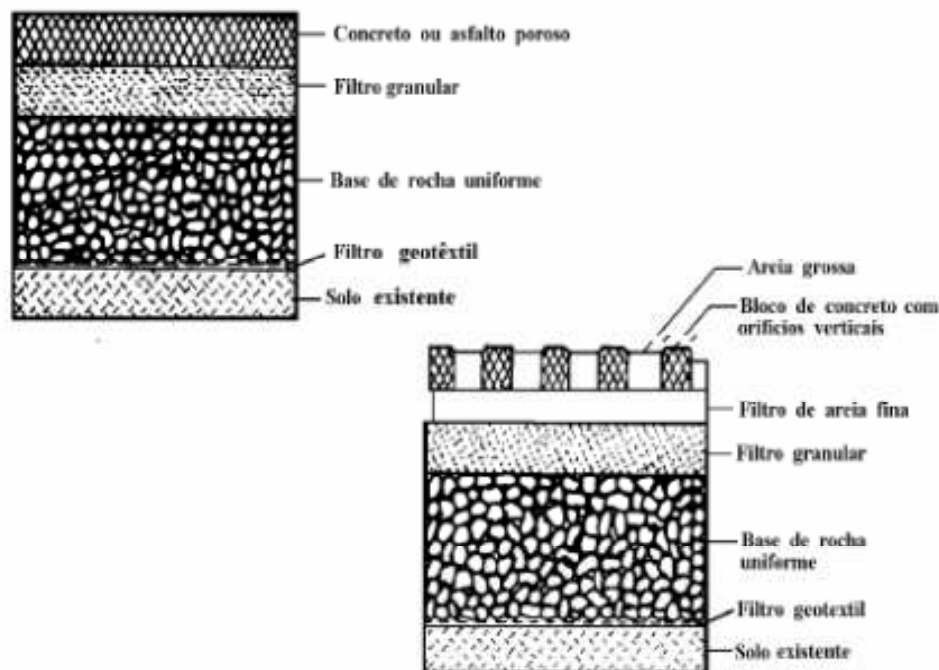


Figura 2.6 – Camadas dos pavimentos permeáveis (URBONAS & STAHR, 1993)

Poços

Os poços de infiltração são estruturas que permitem a infiltração das águas pluviais no subsolo. Sua boa aceitação é devido a sua pequena área de ocupação no espaço urbano quando comparado a outras técnicas. Os poços, além de serem utilizados em locais com camadas permeáveis, possuem a vantagem de seu uso ser possível também em locais onde a camada superficial é pouco permeável, mas cujas camadas mais profundas apresentem boa capacidade de infiltração. Outra vantagem da utilização dos poços é a sua capacidade de contribuição de recarga de lençóis subterrâneos (BAPTISTA *et al.*, 2005).

Coberturas armazenadoras

Quando o espaço urbano é impermeabilizado (intensa urbanização), as técnicas compensatórias baseadas na infiltração são inviáveis e, portanto, devem-se potencializar técnicas de retenção para amortecer o efeito das vazões.

As coberturas armazenadoras foram concebidas com objetivo de reduzir o escoamento superficial através do armazenamento temporário das águas pluviais. Elas podem ser planas ou dotadas de declividades que possam reter águas pluviais e também podem ser vegetalizadas, de cobertura simples ou intensa (formando verdadeiros jardins).

Os telhados vegetalizados, além de contribuir para o amortecimento de vazões, apresentam o benefício de proteção térmica da edificação. Outro tipo de cobertura utilizada, mas com menor frequência no Brasil, é a cobertura (lajes) constituída por britas e/ou seixos, que contribuem para proteção da impermeabilização da edificação.

Reservatórios Individuais

Os reservatórios individuais são constituídos por tanques pré-fabricado, em alvenaria ou concreto, que podem ser instalados a céu aberto ou enterrados.

Os reservatórios individuais ou micro reservatórios são técnicas interessantes, pois permitem o reuso da água para fins não nobres como irrigação de jardins, lavagem de automóveis, calçadas, para utilização em instalações sanitárias, entre outros, o que evidencia seu potencial sustentável, sem esquecer a sua principal função, que é o amortecimento de vazões. Porém, vale ressaltar que esta técnica pode se associar a outras técnicas como as estruturas de infiltração, mas um aspecto negativo, neste caso, é que como os reservatórios

são instalados em propriedades privadas e em grande número fica difícil o controle quanto à colmatção da estrutura de infiltração e da contaminação do lençol freático. Outra possibilidade é a evacuação do dispositivo diretamente para um exutório.

3 DECISÃO MULTICRITÉRIO

As tomadas de decisões fazem parte da vida diária do homem, elas são tomadas a todo instante, sejam consciente ou inconscientemente. As decisões são feitas quando se escolhe fazer ou não coisas, ou quando se escolhe fazê-las de determinadas maneiras (ROY, 1996). Ao se tomar decisões deve-se escolher a alternativa mais adequada para cada situação, pois escolhas inadequadas podem gerar consequências indesejadas. Por isso o conhecimento adequado dos métodos de análises das alternativas se faz necessário.

Uma decisão pode ser definida como um processo complexo e abrangente que se inicia com a percepção da necessidade de uma mudança e que tem o seu término na escolha de um curso de ação, entre os vários viáveis, e na sua implementação (ENSSLIN, 1997).

Roy (1996) define a tomada de decisão como sendo o processo de coletar informações, atribuir importância a elas, buscar possíveis alternativas de solução e, então, fazer a escolha entre as alternativas.

Para Campello de Souza (2002) uma boa decisão deve ser “uma consequência lógica daquilo que se quer, daquilo que se sabe e daquilo que se pode fazer”. O que se quer diz respeito às preferências que se tem pelas diversas consequências das decisões. O que se sabe diz respeito ao conhecimento sobre as grandezas envolvidas e das relações entre elas. O que se pode fazer diz respeito às alternativas disponíveis, deve-se encontrar uma ação que tenha as melhores consequências para o decisor.

As escolhas são feitas baseadas naquilo que produz o resultado desejado, embora muitas delas sejam feitas baseadas na intuição. Em ambientes complexos, exige-se uma análise mais cuidadosa do que se vai decidir, assim como, das consequências de cada escolha feita.

Neste sentido, têm sido desenvolvidas várias ferramentas e instrumentos que facilitam e apoiam o decisor no seu papel de tomar uma decisão e mantendo a coerência. Roy (1996) define Apoio à Decisão como sendo a atividade de uma pessoa que, através do uso de modelos explícitos, mas não necessariamente formalizados, ajuda a obter elementos de respostas a questões apresentadas num processo de decisão.

3.1 Apoio multicritério à decisão

Decisões em ambientes complexos são difíceis de serem tomadas por envolver múltiplos critérios, geralmente conflitantes, e as consequências não serem precisamente identificadas (GOMES *et al.*, 2009). Neste sentido o Apoio Multicritério à Decisão visa

apoiar o processo decisório estabelecendo uma relação de preferências entre as ações que estão sendo avaliadas sob a influência dos múltiplos critérios existentes (ALMEIDA & COSTA, 2003).

É importante salientar que num problema de decisão multicritério, ou seja, aquele que é avaliado sob diversos pontos de vista ou critérios (geralmente conflitantes), não há uma solução ótima que atenda a todos os critérios simultaneamente. A abordagem multicritério de apoio à decisão na resolução do problema tenta mediar o conflito existente entre os critérios, fornecendo como solução uma recomendação ou uma ação a ser adotada que seja a mais adequada para o problema.

Nessa tentativa de mediar os conflitos existentes entre os critérios surge a primeira ideia de compensação, ou seja, a existência de *trade-offs* entre os critérios (perder um pouco num determinado critério para ganhar em outro). Porém, há métodos que apresentam avaliações não-compensatórias como será visto adiante.

Mas, antes de introduzir os métodos multicritérios são apresentados a seguir alguns conceitos básicos que são considerados na escolha do método a ser utilizado.

3.1.1 Atores do processo de decisão

Ator é um indivíduo ou grupo de indivíduos (entidade ou comunidade) que influencia direta ou indiretamente no processo de decisão por meio de seus sistemas de valores. Essa influência pode ser resultante da interação do ator com o próprio ambiente em que está inserido, ou da interferência dos sistemas de preferências de outros atores no qual cada ator fica sujeito (ROY, 1996).

Os atores do processo decisório, denominados stakeholders, têm um importante interesse na decisão e intervêm diretamente no processo decisório através do sistema de valores que eles possuem (BANVILLE *et al.*, 1993 *apud* ROY, 1996). Portanto, os stakeholders são a parte interessada de fato na resolução do problema. Esses stakeholders podem ser (ROY, 1996):

- ✓ Decisor: é aquele que tem o poder da decisão final. O decisor influencia no processo de decisão, de acordo com o juízo de valores que representa, estabelecendo os limites do problema, especificando os objetivos a serem alcançados e emitindo julgamentos.
- ✓ Analista ou Facilitador: é aquele que tem o papel de “modelar” o processo de decisão. É responsável pela estruturação do problema e identificação dos fatores que influenciam na evolução, solução e configuração do problema, ou seja, seu trabalho

consiste na formulação do problema e em ajudar as pessoas a visualizá-lo de maneira mais clara. Deve ser representado por alguém com bastante experiência e conhecimento na área. O sucesso do analista dependerá de como ele utiliza a alocação de recursos para construir um modelo, do refinamento da formulação do problema, da verificação de dados e da escolha da abordagem operacional a ser utilizada.

- ✓ Cliente: é aquele incumbido pelo decisor para representá-lo no processo decisório. Porém, ainda que represente o decisor, não deve ser considerado como tal, e, portanto, não deve ser levado em conta seu sistema de valores, mas sim, o do decisor.

Há também outros atores envolvidos no processo de decisão, que são chamados de *Third Parties* (Terceira Parte ou Terceiros). As *Third Parties* são aqueles que não participam ativamente do processo decisório, embora sejam afetados pelas consequências das decisões tomadas.

Vale ressaltar que a decisão final raramente é tomada por apenas uma pessoa, mesmo que a responsabilidade seja atribuída a apenas uma pessoa, ela se desenvolve de uma forma um tanto caótica, envolvendo um curso de confrontos e interações paralelas e sucessivas, sob efeitos de compensação, entre as preferências dos diferentes atores envolvidos no âmbito do seu ambiente operacional. Este jogo de confrontos e interações é o que compõe o chamado “processo de decisão” (MORAIS, 2002).

3.1.2 Ações

Roy (1996) define uma ação a como sendo a representação de uma possível contribuição para a decisão que pode ser considerada isolada das outras ações, sem perder o impacto da decisão ou seu valor como um ponto de aplicação no apoio a decisão, e pode servir como ponto de aplicação para o apoio à decisão. As ações podem ser classificadas em (ROY, 1996):

- ✓ Ação real: quando é decorrente de um projeto completamente desenvolvido que pode ser executado.
- ✓ Ação fictícia: quando é decorrente de um projeto idealizado ou hipotético. Pode ser realista ou irrealista.
 - o Realista: quando é decorrente de um projeto cuja implementação pode ser considerada bastante razoável.

- o Irrealista: são aquelas que podem satisfazer objetivos incompatíveis com o problema, mas, mesmo assim, fornecem uma boa fundação para discussão e raciocínio.

Segundo Vincke (1992) o conjunto de ações ou alternativas é o conjunto de objetos, decisões, candidatos, a serem explorados durante o curso do processo de decisão. Devido à complexidade dos problemas de decisão, nem sempre é possível definir o conjunto de ações a priori, pode acontecer desse conjunto ser elaborado progressivamente durante o processo decisório e por isso Vincke (1992) define que o conjunto de ações pode ser estável ou evolutivo; globalizado ou fragmentado.

- ✓ Estável: quando o conjunto é definido a priori e não é vulnerável a mudanças no decorrer do processo decisório.
- ✓ Evolutivo: quando o conjunto pode ser modificado no decorrer do processo decisório ou por causa dos resultados intermediários ou porque o problema de decisão surge em um ambiente naturalmente mutante.
- ✓ Globalizado: quando cada elemento do conjunto de ações exclui um outro elemento.
- ✓ Fragmentado: quando o resultado do processo decisório envolve combinações de vários elementos do conjunto de ações.

As ações potenciais são ações reais ou fictícias julgadas, temporariamente, por pelo menos um dos atores ou analista, como realistas. O conjunto dessas ações potenciais é o conjunto de alternativas candidatas à solução do problema de decisão. Vale salientar que a definição do conjunto de ações depende não apenas do problema a ser solucionado e dos decisores, mas, também, do tipo de decisão, das etapas dentro do processo de decisão, do nível de planejamento em que a decisão se encontra, entre outros (MORAIS, 2002).

3.1.3 Estruturas de preferência

Nos modelos de apoio à decisão multicritério, as decisões são construídas de acordo com a estrutura de preferência do decisor, ou seja, para um decisor uma determinada solução é a mais adequada, mas para um decisor diferente poderá haver outra solução mais adequada.

Por isso torna-se necessário estabelecer condições que possam expressar as preferências do decisor quando da comparação entre duas ações potenciais. Essas condições são definidas por relações binárias (R) sobre um conjunto $A = \{a, b, c, \dots, n\}$ de alternativas ou ações.

Então, quando o decisor se ver diante de duas ações a e b e precisa compará-las, ele poderá agir, a priori, de 3 maneiras: preferir uma ação a outra (P); ser indiferente entre as

ações (I); se recusar ou não ter habilidade para comparar as ações (J). Essas são as três relações binárias que podem ser encontradas na maioria dos estudos em modelagem de preferência (MORAIS, 2006).

As relações binárias apresentam algumas propriedades definidas a seguir (ALMEIDA, 2010). Seja R uma relação binária, tem-se que $\forall a, b, c \text{ e } d \in \text{ao conjunto de alternativas } A$:

- Se aRa , então R é reflexiva
- Se $\neg(aRa)$, então R é irreflexiva
- Se $aRb \Leftrightarrow bRa$, então R é simétrica
- Se $aRb \Leftrightarrow \neg(bRa)$, então R é assimétrica
- Se $aRb \text{ e } bRa \Leftrightarrow a = b$, então R é anti-simétrica
- Quando aRb ou bRa , então R é completa
- Se $aRb \text{ e } bRc \Leftrightarrow aRc$, então R é transitiva
- Se $aRb \text{ e } cRd \Leftrightarrow aRd \text{ ou } cRb$, então R é uma relação de Ferrers

Segundo Roy (1996) quando o decisor se depara com a necessidade de expressar suas preferências em relação a duas ações a e b , ele pode se ver diante de quatro situações básicas conforme mostra o Quadro 3.1. Essas relações formam o Sistema Básico de Relações de Preferência.

Quadro 3.1 – Situações Básicas de Preferência (ROY, 1996)

Situação	Definição	Relação Binária (propriedades)
Indiferença	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justificam a equivalência entre as duas ações.	I: reflexiva e simétrica
Preferência Estrita	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que justificam a preferência significativa em favor de uma das duas ações.	P: assimétrica e não reflexiva
Preferência Fraca	Corresponde à existência de razões claras e objetivas que invalidam a preferência estrita em favor de uma das duas ações, mas que são insuficientes para deduzir uma preferência estrita em favor da outra ação ou indiferença entre as duas ações. Portanto, não sendo possível distinguir nenhuma das situações anteriores.	Q: assimétrica e não reflexiva
Incomparabilidade	Corresponde à ausência de razões claras e objetivas que justifiquem qualquer uma das três relações anteriores.	J: simétrica e não reflexiva

Após conhecer as relações binárias e suas propriedades, pode-se definir as principais estruturas de preferência. Vincke (1992) classifica as estruturas de preferência em dois grupos

de acordo com a aceitação ou não da incomparabilidade. No grupo das estruturas de preferência que não aceitam a incomparabilidade estão: as Estruturas de Pré-Ordem Completa, Ordem Completa, Semi-Ordem, Ordem de Intervalo e Pseudo-Ordem (VINCKE, 1992).

- *Estrutura de Pré-Ordem Completa*

As ações são ordenadas da “melhor” para a “pior” podendo haver empates por similaridade, ou seja, pode haver indiferença. Esta estrutura é representada pelo modelo tradicional.

$\forall a, b \in A:$

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) \quad \text{Equação 1}$$

$$aIb \Leftrightarrow g(a) = g(b) \quad \text{Equação 2}$$

- *Estrutura de Ordem Completa*

As ações são ordenadas da “melhor” para a “pior”, não havendo empates por similaridade, ou seja, não há indiferença.

$\forall a, b \in A:$

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) \quad \text{Equação 3}$$

- *Estrutura de Semi-Ordem*

Ocorre quando há um limiar de sensibilidade, chamado de limiar de indiferença (q), abaixo do qual o decisor não é capaz de explicar a indiferença e não quer expressar a preferência. Esta estrutura é representada pelo modelo de limiar.

$\forall a, b \in A:$

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q \quad \text{Equação 4}$$

$$aIb \Leftrightarrow |g(a) - g(b)| \leq q \quad \text{Equação 5}$$

- *Estrutura de Ordem de Intervalo*

Quando o limiar de indiferença (q) varia ao longo de uma escala, é representado por um modelo de limiar variável.

$\forall a, b \in A:$

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b)) \quad \text{Equação 6}$$

$$aIb \Leftrightarrow \begin{cases} g(a) \leq g(b) + q(g(b)) \\ g(b) \leq g(a) + q(g(a)) \end{cases} \quad \text{Equação 7}$$

- *Estrutura de Pseudo-Ordem*

Quando admite a existência de dois limiares de sensibilidade, um é o limiar de indiferença (q) abaixo do qual é clara a indiferença e o outro é o limiar de preferência (p) acima do qual não há dúvidas da preferência. Esta estrutura é representada pelo modelo de limiar duplo.

$\forall a, b \in A$:

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) + p(g(b)) \quad \text{Equação 8}$$

$$aQb \Leftrightarrow g(b) + p(g(b)) \geq g(a) > g(b) + q(g(a)) \quad \text{Equação 9}$$

$$aIb \Leftrightarrow \begin{cases} g(b) + q(g(b)) \geq g(a) \\ g(a) + q(g(a)) \geq g(b) \end{cases} \quad \text{Equação 10}$$

Portando, há uma faixa de transição entre a indiferença e a preferência, na qual o decisor hesita em optar por uma das duas relações. Esta faixa é representada pela relação de preferência fraca (Q).

No grupo das estruturas definidas por Vincke (1992) denominadas de estruturas parciais de preferência e que não aceitam a incomparabilidade estão: a Estrutura de Pré-Ordem Parcial, a Estrutura de Ordem Parcial, a Estrutura de Semi-Ordem Parcial e a Estrutura de Ordem de Intervalo Parcial.

- *Estrutura de Pré-Ordem Parcial*

Semelhante à estrutura de pré-ordem completa, ou seja, ordena as ações da “melhor” para “pior” e admite empates por similaridade. Porém, neste caso inclui a incomparabilidade.

- *Estrutura de Ordem Parcial*

Semelhante à estrutura de ordem completa, ou seja, as ações da “melhor” para “pior” e não admite empates por similaridade. Portando, não é permitida a indiferença, mas aceita a incomparabilidade.

- *Estrutura de Semi-Ordem Parcial e Ordem de Intervalo Parcial*

São estruturas semelhantes às estruturas de Semi-Ordem (limiar de indiferença constante) e Ordem de Intervalo (limiar de indiferença variável), permitindo-se a incomparabilidade.

3.1.4 Critérios

Bana e Costa (1993) *apud* Moraes & Almeida (2002) considera como critérios ou pontos de vista, os aspectos que reúnem características e/ou objetivos, percebidos como importantes pelo decisor, para a construção de um modelo de avaliação de ações existentes ou construídas.

Esses aspectos são consequência do sistema de valores do decisor ou mesmo de sua estratégia de intervenção no processo decisório e agrupa elementos primários de avaliação, que interferem de forma ativa na formação de suas preferências.

Vincke (1992) caracteriza um critério como sendo uma função g , definida em um conjunto A , que assume valores em um conjunto totalmente ordenado e que representa as preferências do decisor sob determinado ponto de vista.

O mesmo autor classifica os critérios de acordo com a estrutura de preferência como:

- ✓ Critério verdadeiro: se a estrutura básica de preferência é uma estrutura de pré-ordem completa (modelo tradicional) – qualquer diferença implica uma preferência estrita.
- ✓ Semicritério: se a estrutura básica de preferência é uma estrutura de semi-ordem (modelo com apenas um limiar) – existe uma zona de indecisão constante entre a indiferença e a preferência estrita.
- ✓ Critério de intervalo: se a estrutura básica de preferência é uma estrutura de ordem intervalar (modelo com limiar variável) – existe uma zona de indecisão que varia ao longo da escala entre a indiferença e a preferência estrita.
- ✓ Pseudo-critério: se a estrutura básica de preferência é uma estrutura de pseudo-ordem (modelo com dois limiares e restrição nos limiares) – evita-se a passagem repentina entre a indiferença e a preferência estrita, existindo uma zona de hesitação que é representada pela preferência fraca.

3.1.5 Problemáticas

Para que os métodos multicritérios possam fornecer um apoio adequado é importante identificar o tipo de problemática no qual o problema está inserido, de maneira que o problema possa ser definido e representado de forma mais clara. Neste sentido, Roy (1996) define problemática como sendo a concepção do analista em relação à forma como ele irá tratar o problema. O mesmo autor identifica quatro diferentes tipos de problemáticas:

- 1) Problemática da escolha ($P.\alpha$) – tem por objetivo fazer uma simples escolha dentre um conjunto de alternativas.
- 2) Problemática da classificação ($P.\beta$) – tem por objetivo classificar as alternativas em determinadas categorias.
- 3) Problemática da ordenação ($P.\gamma$) – tem por objetivo colocar as alternativas em uma forma de ordem de preferência.

- 4) Problemática da descrição (P. δ) – tem por objetivo descrever as alternativas e suas consequências de modo que os decisores possam avaliar essas alternativas.

Além dessas problemáticas, Belton & Stewart (2002) acrescentam a problemática de portfólio que tem por objetivo escolher um subconjunto de alternativas a partir de um conjunto maior, e a problemática de design que tem por objetivo criar novas alternativas para cumprir as metas e aspirações do problema.

3.2 Métodos multicritérios

A abordagem multicritério de apoio à decisão pode ser caracterizada como um conjunto de métodos que buscam tornar claro um problema, no qual as alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, os quais na maioria dos casos são conflitantes (GOMES *et al.*, 2009). São usados, geralmente, quando os objetivos não podem ser mensurados por uma mesma unidade, sendo necessária a adoção de escalas e posteriormente a sua normalização. Assim, os métodos multicritérios de apoio a decisão objetivam dar ao decisor ferramentas a fim de que ele possa tomar a decisão baseado em conceitos bem fundamentados.

Quanto aos métodos multicritérios existentes Roy (1996) classifica-os em:

- 1) Abordagem de critério único de síntese, sem a possibilidade de incomparabilidade
- 2) Abordagem de síntese de sobreclassificação, aceitando incomparabilidade
- 3) Abordagem interativa no julgamento local, com interação tentativa e erro.

O modelo proposto neste trabalho será baseado em um método de sobreclassificação, por isso serão descritos, a seguir, alguns dos métodos para melhor compreensão da abordagem de sobreclassificação.

- **Métodos de Sobreclassificação**

Os métodos de sobreclassificação ou *outranking* fazem parte da Escola Francesa e permite construir uma relação que representa as preferências do decisor por meio de comparação par a par entre as alternativas. Segundo Roy (1996) a relação de sobreclassificação S é uma relação binária definida em A tal que aSb (lê-se a sobreclassifica b), se a é no mínimo tão boa quanto b , e não existe argumentos suficientes que justifiquem o quanto b é melhor que a .

Esses métodos assumem a possibilidade de incomparabilidade nas estruturas de preferência do decisor e não exige a transitividade das relações de preferência. Além disso, eles apresentam avaliações não-compensatórias e requerem uma informação intercritério que

corresponde à importância relativa entre os critérios, representada por pesos (ALMEIDA, 2010).

Dentre os métodos de sobreclassificação destacam-se os métodos da família ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e os métodos da família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method Enrichment Evaluation*).

3.2.1 ELECTRE

O objetivo do método ELECTRE é obter um conjunto de alternativas em que todos os elementos nele contido sobreclassificam os demais elementos, fora deste conjunto. Este procedimento é contínuo até que se ache um subconjunto que contenha as melhores alternativas para solução do problema, e é baseado na avaliação de dois índices: o índice de concordância e o índice de discordância, definidos para cada par de alternativas a e b (BELTON & STEWART, 2002; ALMEIDA, 2010).

Esses índices envolvem a noção de peso dos critérios para representar a importância relativa entre eles. Assim, o índice de concordância $C(a,b)$ mede a força dos argumentos em que a alternativa a é pelo menos tão boa quanto b , ou seja, mede a vantagem relativa da alternativa a em relação as outras. De forma semelhante, o índice de discordância $D(a,b)$ mede a desvantagem de uma alternativa a em relação as demais alternativas. Esses índices são calculados de diferentes maneiras para cada versão do ELECTRE.

A literatura descreve vários métodos dentro da família ELECTRE, que se diferenciam entre si de acordo com o grau de complexidade ou riqueza das informações exigidas, ou de acordo com a natureza do problema ou problemática. (BELTON & STEWART, 2002).

✓ ELECTRE I

O método ELECTRE I foi desenvolvido para problemática de escolha e seu objetivo é obter um subconjunto N (denominado kernel) de alternativas, tal que qualquer alternativa que não esteja em N seja sobreclassificada por pelo menos uma alternativa de N . Esse subconjunto não é o das melhores alternativas, mas sim, o subconjunto que contém os melhores compromissos que podem ser encontrados entre as todas alternativas (VINCKE, 1992).

✓ ELECTRE IS

O método ELECTRE IS é uma generalização do ELECTRE I e também é indicado para problemática de escolha. A novidade deste método é o uso de pseudo-critérios em vez de critérios verdadeiros. O principal objetivo do ELECTRE IS é a determinação do kernel

através das preferências parciais do decisor, que são exploradas por uma relação de sobreclassificação.

✓ ELECTRE II

A principal diferença entre o ELECTRE I e o ELECTRE II é o fato deste utilizar a problemática de ordenação, ou seja, o ELECTRE II tem como resultado um ranking das alternativas não dominadas (não sobreclassificadas).

✓ ELECTRE III

Assim como o ELECTRE II, o método ELECTRE III tem como objetivo ordenar as alternativas da melhor para pior, portanto, sendo indicado para problemáticas de ordenação. O que difere o ELECTRE III dos demais métodos apresentados (ELECTRE I e ELECTRE II) é o fato de que, enquanto estes envolvem apenas critérios verdadeiros, o método ELECTRE III considera pseudo-critérios nas modelagens, sendo introduzidas noções de limiares de preferência p e indiferença q .

Um aspecto importante que deve ser destacado é que o método ELECTRE III é baseado em uma relação de sobreclassificação valorada (são atribuídos valores às alternativas), a qual tem a propriedade, no que diz respeito a uma relação ordinária, de ser menos sensível às variações dos dados e parâmetros envolvidos no problema (ROY, 1978 *apud* VINCKE, 1992).

✓ ELECTRE IV

Assim como o ELECTRE III, o método ELECTRE IV tem como objetivo ordenar as alternativas da melhor para pior. Logo, também é indicado para problemáticas de ordenação e envolve pseudo-critérios nas modelagens.

A principal característica do método ELECTRE IV é que ele não utiliza uma ponderação nos critérios, ou seja, admite-se que não há informação completa sobre a importância relativa entre os critérios. Porém, Vincke (1992) afirma que isso não significa que todos os critérios tenham a mesma importância nem que um critério seja negligenciado por outro.

✓ ELECTRE TRI

O método ELECTRE TRI foi desenvolvido para tratar de problemáticas de classificação, ou seja, quando se deseja classificar as alternativas em categorias predefinidas. A alocação de uma alternativa a resulta da comparação de a com perfis que definem os limites superiores e inferiores das categorias (MOUSSEAU & SLOWINSKI, 1998).

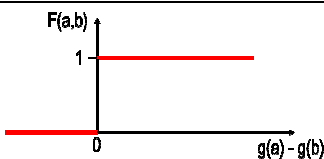
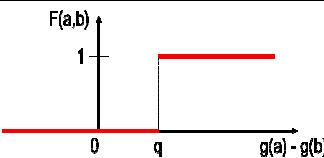
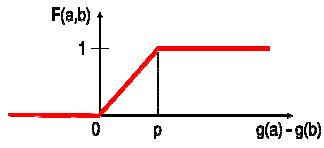
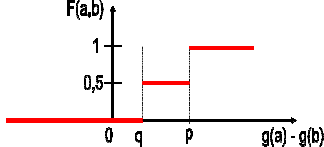
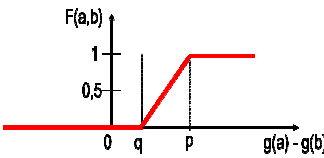
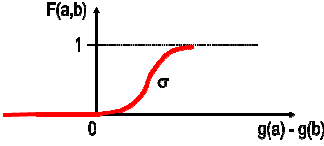
3.2.2 PROMETHEE

O método PROMETHEE consiste em construir uma relação de sobreclassificação valorada, ou seja, cada critério é avaliado por um peso p_i (VINCKE, 1992). Esses pesos significam a importância relativa entre os critérios.

Assim, o primeiro passo do método PROMETHEE é a definição dos pesos de cada critério (p_i), para em seguida poder construir a matriz de avaliação de alternativas em relação a um determinado conjunto de critérios. Mas, antes de construir essa matriz de avaliação é preciso definir uma função de preferência para cada critério. Esta função é representada por $F_i(a,b)$, assume valores entre 0 e 1 e significa a intensidade de preferência de uma alternativa a em relação a outra b para um determinado critério (BRANS & MARESCHAL, 2002; BELTON & STEWART, 2002; VINCKE, 1992).

Vincke (1992) apresenta seis formas para as funções de preferência do PROMETHEE, mostradas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Formas para as funções de preferência (adaptado de VINCKE, 1992 e ALMEIDA, 2010)

I – Critério usual		Qualquer diferença entre as avaliações de um determinado critério implica uma situação de estrita preferência. Nenhum parâmetro precisa ser determinado.
II – Quase-critério		Existe um limiar de indiferença (q) que deve ser determinado.
III – Critério de preferência linear		Existe um limiar de preferência (p) que deve ser determinado.
IV – Critério em nível ou Pseudo-critério		Existem um limiar de indiferença (q) e um limiar de preferência (p) que devem ser determinados. Entre os dois a preferência é “média”.
V – Critério com zona de indiferença		Existem um limiar de indiferença (q) e um limiar de preferência (p) que devem ser determinados. Entre os dois a preferência aumenta.
VI – Critério Gaussiano		O aumento da preferência segue uma distribuição normal. O desvio-padrão (σ) deve ser determinado.

Após a definição das funções de preferência e dos pesos para cada critério é calculado o grau de sobreclassificação (ou índice de preferência) de a em relação a b (BRANS & MARESCHAL, 2002):

$$\pi(a, b) = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^n p_j F_j(a, b) \quad \text{onde: } P = \sum_{j=1}^n p_j = 1 \quad \text{Equação 11}$$

A próxima etapa é o calculo dos fluxos de sobreclassificação. Existem dois tipos de fluxos que devem ser calculados: o positivo e o negativo, definidos da seguinte forma:

- Fluxo de sobreclassificação positivo: representa a intensidade de preferência da alternativa a sobre todas as alternativas b do conjunto A , ou seja, o quanto a alternativa a sobreclassifica as outras alternativas. Quanto maior $\phi^+(a)$, melhor a alternativa a .

$$\phi^+(a) = \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad \text{Equação 12}$$

- Fluxo de sobreclassificação negativo ou de entrada da alternativa a : representa a intensidade de preferência de todas as alternativas b no conjunto A , sobre a alternativa a , ou seja, o quanto a alternativa a é sobreclassificada pelas demais. Quanto menor $\phi^-(a)$, melhor a alternativa a .

$$\phi^-(a) = \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad \text{Equação 13}$$

A família PROMETHEE inclui diversos métodos (Almeida, 2010; Brans & Mareschal, 2002; Vincke, 1992).

✓ **PROMETHEE I**

Consiste na intersecção de duas pré-ordens obtidas através dos fluxos positivo e negativo, produzindo, assim, uma pré-ordem parcial baseadas nas relações de preferência (P), indiferença (I) e incomparabilidade (J), que são obtidas da seguinte maneira:

- Preferência (aPb):

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) \leq \phi^-(b) \quad \text{Equação 14}$$

ou

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad \text{Equação 15}$$

- Indiferença (aIb):

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) = \phi^-(b) \quad \text{Equação 16}$$

- Incomparabilidade (aJb):

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) > \phi^-(b) \quad \text{Equação 17}$$

ou

$$\phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ e } \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad \text{Equação 18}$$

✓ PROMETHEE II

Baseado na utilização de fluxo líquido estabelecendo uma ordem completa decrescente das alternativas. É escolhida a alternativa com maior valor para fluxo líquido.

✓ PROMETHEE III

No PROMETHEE I e II a indiferença entre duas alternativas só é verificada quando os fluxos líquidos dessas alternativas são estritamente iguais, mesmo que apresentem valores muito próximos. O PROMETHEE III substitui os fluxos líquidos pontuais por intervalos, determinando o espaço de indiferença e eliminando qualquer problema relacionado.

✓ PROMETHEE IV

O PROMETHEE IV é uma extensão do PROMETHEE II, utilizado em situações onde o conjunto de soluções viáveis é contínuo.

✓ PROMETHEE V

Após se obter os resultados do PROMETHEE II, prossegue-se com uma programação linear onde são consideradas as restrições identificadas no problema, resultando na seleção de um subconjunto de alternativas.

✓ PROMETHEE VI

Se trata de um modelo menos prescritivo que oferece ao decisor mais liberdade diante do problema, analisando-o através de sua visão pessoal e não apenas de uma visão quantificada do mundo real. É utilizado quando o decisor não está apto ou não quer definir precisamente os pesos dos critérios, podendo-se especificar intervalos de possíveis valores em lugar de um valor fixo para cada peso.

3.3 Utilização de métodos multicritérios em recursos hídricos

Os métodos multicritérios têm sido largamente utilizados no âmbito dos recursos hídricos e se mostrado de grande utilidade na resolução de conflitos envolvendo o uso da água e seu gerenciamento, a seguir são descritos alguns exemplos de aplicações.

Zuffo *et al.* (2002) realizaram estudos sobre planejamento de recursos hídricos utilizando cinco diferentes métodos multicritérios de apoio à decisão, foram adotados vinte critérios e nove alternativas de solução. Os métodos multicriteriais foram aplicados a quatro cenários de pesos distintos, obtidos por meio de consulta por questionário estruturado à especialistas. Essa aplicação permitiu a comparação dos cinco métodos multicritérios utilizados o que possibilitou melhorar o processo de tomada de decisão para a escolha de alternativas.

Morais (2006) utilizou uma modelagem multicritério em grupo gerenciar perdas em redes de abastecimento de água, através de uma abordagem de estruturação de problema, que facilita o compartilhamento de informações a partir de um desenvolvimento participativo (agregação de ideias alternativas de solução para o problema). Assim, a modelagem proposta foi baseada nas preferências individuais dos membros do grupo decisor, permitindo que uma maior quantidade de decisores fique satisfeita com o resultado obtido.

Pompermayer *et al.* (2007) propuseram um procedimento multicritério como instrumento de auxílio à tomada de decisão na gestão de recursos hídricos. Foram selecionados vinte indicadores de sustentabilidade, realizando uma classificação das sub-bacias que integram a área de estudo por grau de preferência em relação às intervenções pré-estabelecidas.

Na área de gestão de águas pluviais Mendonça (2009) desenvolveu uma metodologia capaz de avaliar o desempenho global de sistemas de drenagem urbana baseado em métodos de apoio à decisão, permitindo a identificação dos aspectos mais eficientes e também dos mais precários associados aos sistemas de drenagem urbana. Foram selecionados dezesseis critérios agrupados em seis aspectos e o modelo permitiu alocar cada um dos três cenários analisados a uma categoria de nível de desempenho (“ótimo”, “muito bom”, “bom”, “regular”, “ruim” e “muito ruim”).

Portanto, é notória a importância de se desenvolver novas pesquisas relacionadas aos recursos hídricos, visto que a água é um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico, devendo-se assegurar à população o controle qualitativo e quantitativo do uso da água (Lei nº 9.433/97). Desta forma, o desenvolvimento deste trabalho visa agregar de forma positiva às pesquisas relacionadas ao manejo das águas pluviais envolvendo métodos multicritérios.

4 PROPOSTA DO MODELO

O modelo proposto neste trabalho analisará a prioridade dos decisores em relação às medidas de controle de inundações urbanas através de um método de sobreclassificação que é apropriado para a problemática de ordenação de alternativas. O procedimento para aplicação do modelo está representado no fluxograma da Figura 4.1.

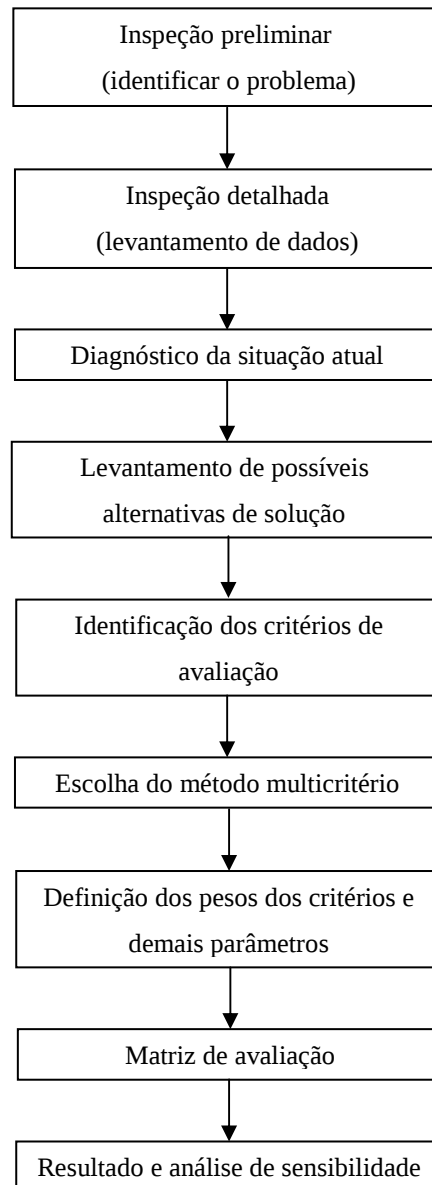


Figura 4.1 – Fluxograma do procedimento proposto para o problema

4.1 Inspeção preliminar

A inspeção preliminar serve apenas para identificar o problema, ou seja, há um problema que precisa ser corrigido, mas pouco se sabe a respeito dele.

Assim, a inspeção preliminar trata-se de uma inspeção visual e fácil de ser realizada: se houve chuva e inundou, então há um problema que precisa ser resolvido. Porém, para tentar solucionar precisamos de informações mais específicas e por isso faz-se necessário uma inspeção mais detalhada.

4.2 Inspeção detalhada

Esta fase é importante para compreender e caracterizar melhor o problema. O levantamento de dados permite conhecer as causas, origens e mecanismos de ocorrência do problema.

Além das características das chuvas, que podem ser obtidas através de séries históricas, devem ser estudadas também as características da própria bacia drenante, ou seja, a região em que ocorre o fenômeno de precipitação. Assim, é necessário que sejam feitas visitas ao local que apresenta o problema de drenagem, isso permitirá obter respostas para as seguintes perguntas:

- Que tipo de ocupação existe na região?
- Quais tipos de construções predominam?
- Qual o perfil geológico da região?
- Há camada impermeável? A que profundidade?
- Há sistema de drenagem implantado?
- O sistema de drenagem existente atende a necessidade?
- Há manutenção do sistema de drenagem? Qual a frequência?

Também é importante delimitar a área de inundação, ou seja, identificar que região está sofrendo com o problema, se é uma rua, uma quadra, um bairro, etc., para então definir planos de ação a serem implantados que viabilizem sua integração junto ao projeto urbanístico existente na localidade. Neste modelo utilizou o termo “trecho” para se referir à região de inundação.

De posse de todas essas informações, passa-se a fase de organização e formalização das informações.

4.3 Diagnóstico da situação atual

O diagnóstico representa o resultado de todo estudo feito até agora sobre o problema de forma organizada. Pode ser definido também como o tratamento de dados obtidos na inspeção detalhada de forma a organizar as informações e facilitar o trabalho do responsável pela solução do problema e demais interessados. O Quadro 4.1 apresenta um formulário proposto para o diagnóstico do problema de drenagem.

Quadro 4.1 – Formulário proposto para o diagnóstico

Empresa:		
Projeto:		
Responsável:		
Data:		
Trecho:		
Avaliação – Diagnóstico		
1.	Tipo de ocupação existente:	
2.	Área sem cobertura (%):	
3.	Tipo de solo:	()A ()B ()C ()D
4.	Capacidade de infiltração:	()excelente ()boa ()regular ()baixa ()nula
5.	Nível do lençol freático:	
6.	Camada impermeável:	()não ()sim Profundidade:_____ (m)
7.	Há sistema de drenagem:	()não ()sim
Observações:		

4.4 Levantamento das possíveis alternativas de solução

A partir do diagnóstico da situação atual é possível fazer um levantamento das alternativas potenciais, pois esse permite um conhecimento detalhado do problema e de suas limitações. Portanto, como é de se esperar, para cada situação haverá um conjunto específico de possíveis alternativas, já que cada localidade tem suas próprias restrições, o que implica numa ampliação ou redução desse conjunto de alternativas. A sequência de passos está representada na Figura 4.2. Nesta modelo optou-se por utilizar técnicas compensatórias estruturais de drenagem urbana, visto que na maioria das vezes as técnicas não-estruturais não são bem vistas pela sociedade por se tratar de medidas de gestão e educação ambiental, além

disso, é de difícil implantação por requerer rigorosa fiscalização no cumprimento da legislação.

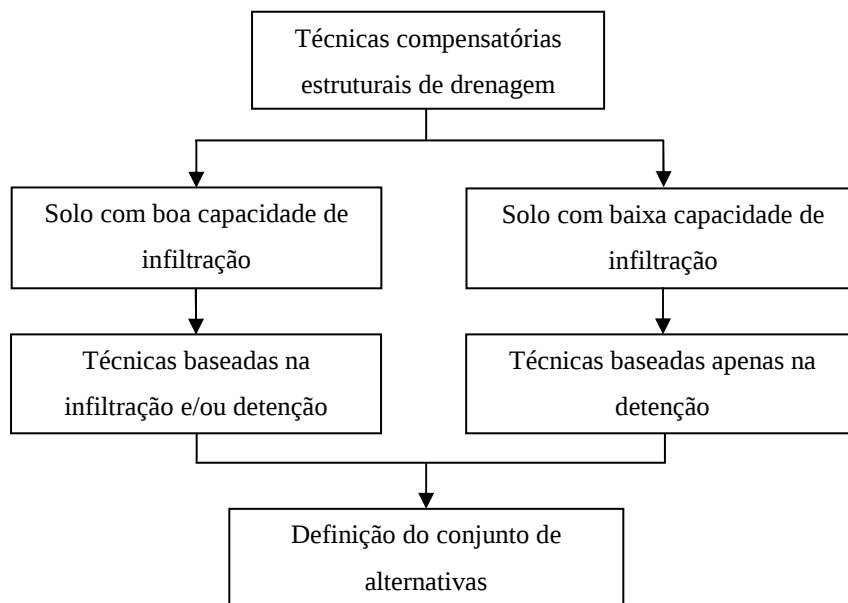


Figura 4.2 – Fluxograma da definição das alternativas potenciais

Assim, após a análise da capacidade de infiltração do solo poderá ser definido quais técnicas compensatórias poderão entrar no conjunto de alternativas. Se o solo apresenta boa capacidade de infiltração, tanto as técnicas compensatórias baseadas na infiltração como na detenção poderão participar do conjunto de alternativas. Porém, se o solo apresenta baixa capacidade de infiltração é de se esperar que as técnicas compensatórias baseadas na infiltração sejam excluídas do conjunto.

4.5 Identificação dos critérios de avaliação

O estudo da viabilidade de implantação das alternativas potenciais deve ser regido por critérios a serem definidos por um decisor. Esses critérios devem contemplar os mais amplos aspectos de acordo com a preferência do decisor. Neste modelo, propõe-se avaliar critérios de cunho ambiental, social, econômico e hidrológico, que serão detalhados em seguida. A partir da análise individual de cada critério é possível obter dados e informações que possam orientar a escolha da(s) medida(s) de controle de inundações mais adequada(s) para cada situação, visando sempre à minimização de danos.

A seguir serão descritos os critérios e subcritérios avaliados. Vale ressaltar que alguns critérios podem ser avaliados de maneira direta através de valores específicos obtidos em

estudos, como é o caso do critério custo. Porém, outros critérios, devido sua natureza subjetiva, necessitam na maioria das vezes de uma escala verbal que permita clareza na comparação, como será visto na simulação numérica no Capítulo 5.

- Critérios Ambientais

No ponto de vista ambiental as grandes inundações têm produzido aumento de sedimentos, deterioração da qualidade da água e contaminação de aquíferos.

A produção de sedimentos tem como consequências o assoreamento do sistema de drenagem reduzindo assim a capacidade da água escoar pelos condutos, além disso, os sedimentos podem carregar poluentes agregados. A qualidade das águas pluviais é influenciada pela limpeza urbana e sua frequência (coleta de lixo), intensidade da precipitação e distribuição temporal e espacial (quanto mais água, mais diluída ficará), época do ano e tipo de uso da área urbana (área industrial, residencial, etc).

Apesar de, nos países em desenvolvimento, a qualidade da água não ser um tema de grande relevância (antes disso é preciso resolver o problema da quantidade de água), é importante considerá-la visto que a qualidade da água determinará a redução de custo de tratamento, pois, se a água estiver contaminada e infiltrar-se para os aquíferos ou escoar para rios que sirvam de abastecimento, exigir-se-á maior tratamento químico e consequentemente maior recurso financeiro.

Outro ponto a ser considerado na avaliação das medidas de controle de inundações é quando ao seu potencial sustentável. A sustentabilidade é vista hoje como o conceito que poderá proteger o mundo de grandes males e desastres ambientais, pois parte do princípio de explorar ou utilizar os recursos de forma a prejudicar o mínimo possível o equilíbrio entre o ambiente e a sociedade. Portanto, práticas sustentáveis na área de drenagem urbana também são importantes para redução de prejuízos e melhoria das condições de vida humana, da fauna e da flora. Assim, a adoção de medidas de controle de inundações que partem do princípio de reutilização das águas pluviais ou que preservem o máximo de área verde, além de apresentar baixos custos traz benefícios para o meio ambiente e para sociedade, devido seu potencial sustentável.

- Critérios Sociais

A sociedade é o agente que tem maior interesse na redução das inundações, pois ela é quem mais sofre diretamente com as consequências das inundações urbanas. Além dos danos materiais, a sociedade fica vulnerável à doenças transmitidas por meio da água, assim, se as

medidas adotadas para o controle das inundações proporcionarem redução do contato das pessoas com a água da inundação será menor o risco de contaminação.

A importância da sociedade no processo de decisão de alternativas contra inundação se torna mais evidente visto que ela é o principal financiador das obras hidráulicas, que são construídas pelo poder público com recurso proveniente do pagamento de impostos. Por isso, é necessário que a medida adotada tenha boa aceitação por parte da sociedade.

Portanto, os seguintes critérios de cunho social foram introduzidos na análise:

- risco à saúde da população, visto que a água é um meio de veiculação de diversas doenças (leptospirose, cólera, dengue, etc.); e
- aceitação da alternativa pela sociedade.

- Critérios Econômicos

Os critérios econômicos são muito importantes, pois interferem diretamente na decisão de adotar uma ou outra alternativa. A minimização desse critério é sempre visada, apesar de nem sempre ser atingida. O que se observa na prática durante a escolha de uma alternativa, é que na maioria dos casos só é considerado o custo de implantação por este ser, geralmente, o de maior valor. Porém, sabe-se que há ainda outros dois tipos de custos agregado aos sistemas de drenagem, que são: o custo de manutenção e o custo de operação. O custo de manutenção como o nome já diz é o custo associado às manutenções periódicas realizadas nos dispositivos de drenagem a fim de garantir seu funcionamento adequado. O custo de operação é aquele associado ao trabalho de alguém para fazer com que aquele dispositivo de drenagem funcione, vale ressaltar que nem todos dispositivos apresentam esse tipo de custo agregado.

Assim, na análise dos critérios econômicos, nesta proposta, serão considerados o custo de implantação da medida de controle, o custo de manutenção e o custo de operação (caso não exista será atribuído o valor zero).

- Critérios Hidrológicos

Esses critérios consideram o desempenho das alternativas em relação aos fatores hidrológicos. Na utilização das técnicas compensatórias estruturais, o principal objetivo é reduzir a vazão no espaço e no tempo. Por isso na proposição do modelo será adotado o critério vazão de pico, ou seja, pretende-se avaliar se a medida a ser adotada diminui a vazão e em quanto diminui quando feita as comparações par a par.

A vazão de pico, vazão máxima ou vazão de cheia é a maior vazão atingida devido a ocorrência de uma certa chuva em uma determinada área. Verifica-se que em áreas urbanizadas há um aumento da vazão máxima agravando os impactos das inundações, devido

à elevada taxa de impermeabilização que o desenvolvimento urbano acarreta, o contrário é observado em áreas não urbanizadas. Portanto, as medidas de controle de inundações urbanas devem visar à redução da vazão máxima.

4.6 Escolha do método multicritério

A escolha de um método formal para auxiliar o processo decisório é uma etapa complexa. Goodwin & Wright (2004) *apud* Almeida (2010) destacam alguns fatores podem influenciar nessa escolha:

- o tempo disponível para tomar a decisão;
- o esforço requerido por uma dada abordagem;
- o conhecimento acerca do método pretendido;
- o conhecimento sobre o ambiente decisório;
- a importância de uma decisão mais precisa;
- a necessidade de justificar a decisão para os outros;
- o desejo de minimizar os conflitos;

Almeida (2010) destaca que os métodos multicritérios possuem estruturas axiomáticas ou hipóteses diferentes e não podem ser aplicados de qualquer maneira a um mesmo problema sem que as diferenças sejam consideradas. Por isso, é importante que o decisor tenha bom conhecimento do problema analisado, do contexto, das informações disponíveis, seu grau de precisão e do tipo de problemática que será abordado.

4.7 Definição dos pesos dos critérios e demais parâmetros

A identificação dos pesos é uma etapa muito importante no processo decisório, pois os pesos representam o grau de importância dos critérios para o decisor. A depender do decisor essa atribuição de valores para os pesos pode ser feita baseada em experiências passadas ou simplesmente por meio de informações obtidas durante o processo decisório. Por isso, é essencial que o decisor possua um bom conhecimento acerca do problema para melhor avaliar e definir os pesos para cada critério, porque qualquer informação duvidosa ou incerta em relação a esse parâmetro poderá fornecer um resultado com pouca veracidade.

Além dos pesos, o decisor deve estar apto e seguro para definir que funções de preferência, que representarão de forma mais apropriada seu julgamento em relação aos critérios, bem como os parâmetros p e q , limites de preferência e indiferença respectivamente. Em que p é o menor valor para $g_j(a) - g_j(b)$ acima do qual há uma relação de preferência estrita, e q é o maior valor para $g_j(a) - g_j(b)$ abaixo do qual há uma relação de indiferença.

4.8 Matriz de avaliação

Depois de definido o método a ser utilizado e todos os parâmetros de avaliação, a etapa seguinte é a construção da matriz com as alternativas consideradas em relação aos todos os critérios já estabelecidos (alternativas x critérios).

É possível que nesta matriz alguns critérios sejam avaliados de forma direta sem qualquer interferência do decisor, podendo ser mensurados baseados em estudos anteriores, como é o caso do critério custo que geralmente emprega-se o valor monetário.

Contudo, poderá haver critérios que exijam um julgamento mais subjetivo, não podendo ser avaliados de forma direta por meio de valores específicos. Nesses casos são utilizadas escalas verbais como recurso de comparação para simplificar e auxiliar o decisor durante a avaliação.

4.9 Resultado e análise de sensibilidade

O resultado de um modelo multicritério de apoio à decisão não deve ser visto como uma resposta exata para a solução do problema, mas sim, como uma recomendação.

Assim, este modelo não implica na obrigação de implantação da alternativa vencedora (apesar de ela ter apresentado melhor desempenho em relação às outras alternativas), mas sim, uma recomendação, deixando o decisor livre para implantar qualquer uma das outras alternativas do conjunto.

Vale ressaltar a importância de se realizar a análise de sensibilidade para verificar a consistência do modelo e avaliar seu comportamento em relação a possíveis alterações em alguns parâmetros, especialmente os pesos (MORAIS, 2006).

5 SIMULAÇÃO NUMÉRICA

O presente capítulo apresenta uma simulação do modelo proposto com objetivo de selecionar a melhor alternativa para o problema de drenagem. Portanto, não foram utilizados dados realísticos, a aplicação passa por todas as etapas descritas no Capítulo 4.

5.1 Aplicação do modelo

- ***Inspeção preliminar***

A inspeção preliminar é a fase de identificação do problema, bem como a identificação dos decisores e atores envolvidos. Para esta simulação o cenário escolhido foi um loteamento fictício de aproximadamente 3 hectares.

Verifica-se que em períodos chuvosos ocorrem grandes alagamentos neste loteamento dificultando o trânsito de pedestres e veículos, causando transtornos aos moradores da localidade.

Assim, um engenheiro da prefeitura da cidade, considerado como decisor, foi até o local fazer uma investigação mais detalhada e levantar algumas informações para solucionar o problema de drenagem.

É importante destacar o papel da sociedade no processo decisório, pois esta é a parte mais afetada com o problema de drenagem na região, dificultando a rotina das pessoas em dias de chuvas. Além disso, a sociedade é parte financiadora das obras de drenagem através do pagamento de impostos.

- ***Inspeção detalhada***

De acordo com a investigação feita pelo engenheiro constatou-se que a região apresenta um solo bastante arenoso, sem camada impermeável a longa profundidade, ocupado por casas e edifícios residenciais e comerciais.

Quanto às características do problema de drenagem verificou-se que não há um ponto crítico de acúmulo de água, já que a topografia da região é predominantemente plana, não apresentando grandes declividades.

Quando o sistema de drenagem foi implantado na região atendia perfeitamente a quantidade de água precipitada. Porém, com o desenvolvimento urbano, a construção de edificações e consequentemente a impermeabilização do espaço urbano, verificou-se que o

sistema implantado não conseguia mais comportar as águas pluviais, que acabam se acumulando das ruas. Além da urbanização é importante destacar o fenômeno das mudanças climáticas que tem ocorrido no mundo e sua interferência no regime de chuvas, que tem se intensificado ano após ano contribuindo para o aumento de água nas ruas durante o período chuvoso.

A limpeza urbana e manutenção do sistema de drenagem é outro ponto que deve ser destacado, pois interfere no desempenho global do sistema. A cidade onde se localiza o loteamento em estudo possui um plano de manutenção preventiva dos sistemas de drenagem que contém as diretrizes executivas para serviços de drenagem. Porém, mesmo com o serviço de manutenção preventiva foram observadas obstruções em alguns trechos, reduzindo, portanto, o desempenho do sistema de drenagem.

A partir das informações levantadas pelo engenheiro e sua equipe foi desenvolvido um diagnóstico para acompanhamento da situação e facilitar as futuras etapas de decisão.

- **Diagnóstico da situação atual**

O diagnóstico pode ser considerado como um resumo da inspeção detalhada para facilitar a compreensão do problema e é apresentado no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Diagnóstico da área que apresenta problema de drenagem.

Empresa: Prefeitura da Cidade A		
Projeto: Drenagem do loteamento B		
Responsável: Eng° C		
Data: 20/09/2011		
Trecho: Loteamento B		
Avaliação – Diagnóstico		
1.	Tipo de ocupação existente:	Edifícios residenciais e casas
2.	Área sem cobertura (%):	20%
3.	Tipo de solo:	()A (X)B ()C ()D
4.	Capacidade de infiltração:	()excelente (X)boa ()regular ()baixa ()nula
5.	Nível do lençol freático:	2,00 m
6.	Camada impermeável:	(X)não ()sim Profundidade:_____ (m)
7.	Há sistema de drenagem:	()não (X)sim
Observações:		

- ***Levantamento das possíveis alternativas de solução***

A partir do diagnóstico é possível fazer o levantamento das possíveis alternativas que poderão ser implantadas na região. Neste trabalho foram consideradas apenas técnicas compensatórias estruturais como alternativas potenciais, por apresentarem baixo custo, menores impactos e facilidade de implantação quando comparadas a obras de drenagem de grande porte, tais como canais e galerias.

O conjunto de técnicas compensatórias estruturais podem ser divididos em 2 grupos: o primeiro refere-se a aquelas técnicas baseadas na infiltração, portanto, utilizadas em regiões em que o solo apresenta boa capacidade de infiltração, e o segundo refere-se a aquelas técnicas baseadas na retenção que podem ser utilizadas tanto em regiões com boa capacidade de infiltração como em regiões que apresentam baixa ou nula capacidade de infiltração.

Na região em estudo o solo apresenta boa capacidade de infiltração, assim, tanto as técnicas baseadas na infiltração como na retenção são bem aceitas, desde que haja espaço para implantação. Desta forma, o conjunto de alternativas para o estudo é:

A1 – Trincheira de infiltração

A2 – Pavimento permeável composto por blocos de concreto vazados com evacuação por infiltração

A3 – Poço de infiltração

A4 – Reservatórios individuais em alvenaria com cobertura em concreto

- ***Escolha do método multicritério***

Para este modelo foi escolhido o método PROMETHEE I que fornece uma pré-ordem parcial baseada nas relações de preferência, indiferença e incomparabilidade, a partir da intersecção de duas pré-ordens.

- ***Identificação dos critérios, definição dos pesos e demais parâmetros para avaliação***

De acordo com a análise feita pelo decisor com formação em engenharia civil, foram propostos critérios de cunho ambiental, social econômico e hidrológico, estes foram divididos em subcritérios como será visto adiante. Alguns critérios são difíceis de quantificar, por isso o decisor utilizou uma escala verbal dividida em 3 níveis (baixo, moderado e alto) que foi posteriormente transformada em escala numérica, cujo o somatório dos pesos de todos os critérios é igual a 1.

✓ C1 – Ambiental

C1a – Impacto na qualidade de água: as águas pluviais “varrem” as ruas carregando uma grande quantidade de poluentes e quando essas águas penetram no solo podem contaminar o lençol freático. Assim, o critério “impacto na qualidade de água” visa analisar o risco de contaminação que essas águas pluviais apresentam baseado em três níveis de preferência (Tabela 1):

Tabela 1 – Níveis de preferência para o subcritério impacto na qualidade de água

Conceito	Nível de preferência
Baixo	A alternativa não apresenta risco de contaminação do lençol
Moderado	A alternativa apresenta um risco desprezível de contaminação do lençol
Alto	A alternativa apresenta um elevado risco de contaminação da água do lençol

C1b – Sustentabilidade: o critério “sustentabilidade” será analisado quanto à reutilização da água pluvial, assim, quando uma alternativa privilegiar o reuso da água pluvial receberá a avaliação mais alta (Tabela 2).

Tabela 2 – Níveis de preferência para o subcritério sustentabilidade

Conceito	Nível de preferência
Baixo	A alternativa não potencializa o reuso da água pluvial
Moderado	A alternativa apesar de não prezar pelo reuso, contribui indiretamente para recarga do aquífero.
Alto	A alternativa potencializa ao máximo o reuso da água pluvial para atividades não nobres

✓ C2 – Social

C2a – Risco à saúde da população: a água é um meio de veiculação de doenças por isso deve-se prezar por alternativas que reduzam ao máximo o risco de doenças à população. Portanto, o critério “risco a saúde da população” será avaliado segundo este argumento. Assim, quanto maior o risco menor será a avaliação atribuída e, consequentemente, quanto menor o risco, maior será a avaliação (Tabela 3).

Tabela 3 – Níveis de preferência para o subcritério risco à saúde da população

Conceito	Nível de preferência
Baixo	A alternativa não apresenta risco à saúde da sociedade por contaminação
Moderado	A alternativa pode apresentar risco à saúde da sociedade por contaminação
Alto	A alternativa apresenta elevado risco à saúde da sociedade por contaminação

C2b – Aceitação da sociedade: sabe-se também que qualquer interferência no meio urbano afeta diretamente a sociedade e por isso ela deve estar ciente e concordar com as medidas propostas pelo governo, assim o critério “aceitação da sociedade” avaliará a preferência das pessoas pelas alternativas propostas para redução de inundações. Quanto maior a aceitação, maior será a avaliação atribuída a este critério (Tabela 4).

Tabela 4 – Níveis de preferência para o subcritérios aceitação da sociedade

Conceito	Nível de preferência
Baixo	A sociedade é contrária a implantação da alternativa
Moderado	A sociedade é indiferente a implantação da alternativa
Alto	A sociedade é favorável a implantação da alternativa

✓ C3 – Econômico

Dentro do critério econômico foram estabelecidos 3 subcritérios: custo de implantação, custo de manutenção e custo de operação. Porém, nesta simulação serão utilizados apenas o custo de implantação e o custo de manutenção, visto que o custo de operação é muitas vezes insignificante ou mesmo se confunde com o custo de manutenção para as alternativas compensatórias potencializadas. O procedimento utilizado para avaliação será a comparação direta de valores monetários, sendo preferível sempre a alternativa com menor valor para os custos (Tabela 5).

Tabela 5 – Critério econômico

Critério	Subcritérios	Escala
Econômico	C3a – Custo de implantação	Comparação direta de valores monetários
	C3b – Custo de manutenção	

✓ C4 – Hidrológicos

C4a – Vazão de pico: o critério “vazão de pico” visa avaliar o quanto que a alternativa implantada poderá reduzir a vazão. Por essa aplicação de tratar de uma simulação não temos valores numéricos para quantificar o valor da vazão, por este motivo este critério será avaliado de forma comparativa não-quantitativa utilizando escala verbal com 3 níveis (Tabela 6). Assim, quanto maior for a contribuição da alternativa para a redução da vazão de pico, maior será a sua avaliação.

Tabela 6 – Níveis de preferência para o subcritério vazão de pico

Conceito	Nível de preferência
Baixo	A alternativa não contribui para redução efetiva da vazão
Moderado	A alternativa pouco contribui para redução da vazão
Alto	A alternativa contribui de forma bastante significativa para redução da vazão

De acordo com a preferência do decisor engenheiro civil, foram avaliados os critérios e chegou-se ao seguinte resultado: o critério econômico foi avaliado como sendo o mais importante sendo, portanto, atribuído o valor de 0,4 ao seu peso, seguido do critério hidrológico, social e ambiental. Os valores para os pesos (p_j) são apresentados no Quadro 5.2, vale ressaltar que $P = \sum_{j=1}^n p_j = 1$.

Quadro 5.2 – Pesos dos critérios e subcritérios

Critérios	Pesos	Subcritérios	Pesos
Ambiental	0,1	C1a	0,05
		C1b	0,05
Social	0,2	C2a	0,15
		C2b	0,05
Econômico	0,4	C3a	0,3
		C3b	0,1
Hidrológico	0,3	C4a	0,3

Além dos pesos, para cada critério, foi estabelecida uma função de preferência que representa a forma de julgamento feita pelo decisor em relação aos critérios. Assim, para os critérios ambiental, social e hidrológico foi escolhida a função I (critério usual ou verdadeiro) onde qualquer diferença na avaliação do decisor entre as alternativas implica uma situação de preferência estrita, não há limites de preferência ou indiferença para ser determinado e para o critério econômico foi escolhida a função III (critério linear) onde a preferência do decisor é crescente até um limite de preferência (p) determinado.

De acordo com a avaliação feita pelo decisor, para o parâmetro p (limite de preferência) foi adotado o valor de 10,00 no critério C3a (custo de instalação) e o valor de 3,00 no critério C3b (custo de manutenção).

- **Matriz de avaliação**

Após definir o método PROMETHEE I como base do modelo e os demais parâmetros vistos na etapa anterior, segue-se para a construção da matriz de avaliação de desempenho (alternativas x critérios).

Cada alternativa foi avaliada em relação aos critérios adotados resultando no Quadro 5.3. Os valores para o critério econômico (C3a e C3b) foram baseados em estudos realizados por Moura (2004) *apud* Baptista *et al.* (2005).

Quadro 5.3 – Matriz de avaliação das alternativas

Alternativas	Subcritérios						
	C1a	C1b	C2a	C2b	C3a	C3b	C4a
A1	Alto	Moderado	Baixo	Alto	68,00	20,00	Alto
A2	Moderado	Baixo	Baixo	Moderado	16,97	2,57	Moderado
A3	Alto	Moderado	Baixo	Moderado	116,00	12,00	Moderado
A4	Baixo	Alto	Baixo	Alto	127,00	5,00	Alto

Na matriz de avaliação das alternativas observa-se que o critério C2a (risco à saúde da população) neste caso específico recebeu a mesma avaliação em todas as alternativas, portanto, poderia ser excluído deste problema, mas preferiu-se mantê-lo para conservar a estrutura do modelo.

No estudo foi admitida a escala verbal para estabelecer os níveis de preferência do decisor. A fim de facilitar a avaliação foi atribuído a cada valor verbal um valor numérico conforme o Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Transformação de escalas

Critério	Subcritérios	Escala		
		Baixo	Moderado	Alto
Ambiental	C1a – Impacto na qualidade de água	1	0,5	0
	C1b – Sustentabilidade	0	0,5	1
Social	C2a – Risco à saúde da população	1	0,5	0
	C2b – Aceitação da sociedade	0	0,5	1
Econômico	C3a – Custo de instalação	Comparação direta de valores		
	C3b – Custo de manutenção	Comparação direta de valores		
Hidrológico	C4a – Redução da vazão de pico	0	0,5	1

As avaliações das alternativas em relação aos critérios com a escala verbal foram convertidas em escala numérica e são apresentadas no Quadro 5.5.

Quadro 5.5 – Conversão de escala para a avaliação das alternativas

Alternativas	Subcritérios						
	C1a	C1b	C2a	C2b	C3a	C3b	C4a
A1	0	0,5	1	1	68,00	20,00	1
A2	0,5	0	1	0,5	16,97	2,57	0,5
A3	0	0,5	1	0,5	116,00	12,00	0,5
A4	1	1	1	1	127,00	5,00	1

De posse do resultado das comparações par a par é possível calcular os fluxos positivo e negativo para cada alternativa (Quadro 5.6), utilizando as equações 12 e 13 apresentadas no item 3.2.2.

Quadro 5.6 – Cálculo dos fluxos

Alternativas	ϕ^+	ϕ^-
A1	1,35	0,75
A2	1,281	0,819
A3	0,45	1,65
A4	1,119	0,981

Para construir as relações de sobreclassificação deve-se comparar cada alternativa uma a uma observando os fluxos positivo e negativo, e obedecendo as recomendações do método PROMETHEE I apresentadas no item 3.2.2 (equações 14, 15, 16, 17 e 18). Desta forma, o modelo forneceu a seguinte ordenação das alternativas: A1, A2, A4, A3 (Figura 5.1).

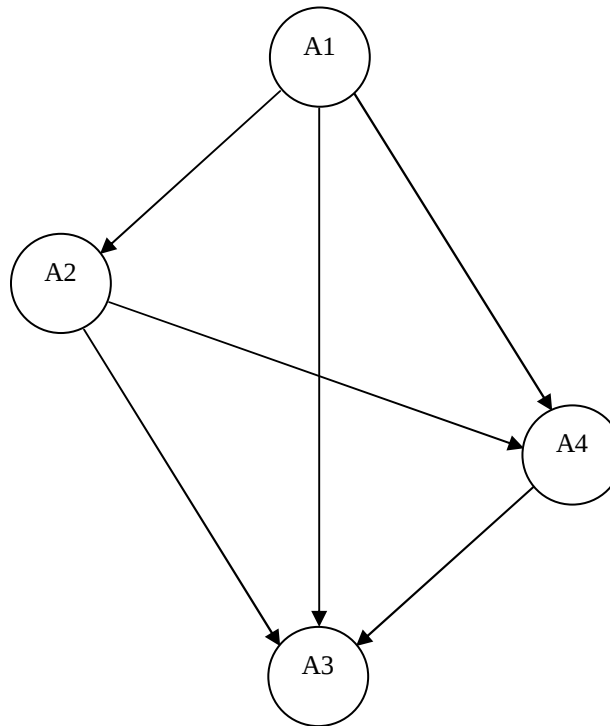


Figura 5.1 – Fluxo de sobreclassificação das alternativas

Verificou-se que a alternativa A1 sobreclassificou todas as outras alternativas (A2, A3 e A4) sendo, portanto, considerada a melhor alternativa de acordo com a preferência do decisor. Já a alternativa A3 foi sobreclassificada por todas as alternativas (A1, A2, e A4) recebendo a última posição na ordenação.

5.2 Análise de sensibilidade

Para verificar a consistência do modelo e determinar o efeito de uma variação de um determinado parâmetro no resultado do modelo faz-se a análise de sensibilidade. Nesta simulação o critério julgado mais importante foi o critério econômico, por isso seu peso foi escolhido para sofrer variações de $\pm 15\%$ permitindo avaliar o comportamento do resultado final. Então, a medida que se aumenta ou diminui 15% no valor do peso do critério econômico, esta mesma quantidade será diminuída ou acrescentada de maneira proporcional entre os pesos dos demais critérios.

Para a variação de +15% no critério econômico obteve-se o seguinte resultado para os fluxos positivo e negativo (Quadro 5.7):

Quadro 5.7 – Cálculo dos fluxos para variação de +15%

Alternativas	ϕ^+	ϕ^-
A1	1,4025	0,8325
A2	1,4532	0,7619
A3	0,5075	1,7275
A4	1,0869	1,1282

A Figura 5.2 apresenta o fluxo sobreclassificação das alternativas.

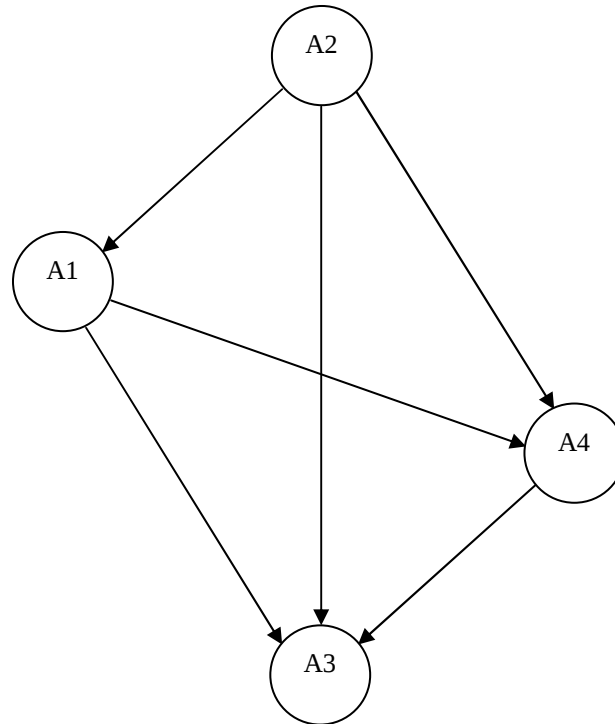


Figura 5.2 – Fluxo de sobreclassificação de alternativas para variação de +15%

Observa-se que houve inversão de posição das duas primeiras alternativas, a alternativa A2 (pavimento permeável) apresentou melhor desempenho seguido da alternativa A1 (trincheira de infiltração). Essa inversão pode ser atribuída a fato da avaliação para o critério econômico das duas alternativas (A1 e A2) terem sido próximas, por isso quando se variou o peso deste critério a sua ordenação mudou, mostrando que o modelo é sensível em relação as suas avaliações. Já as alternativas A3 (poços de infiltração) e A4 (reservatório individual) permaneceram na mesma posição de avaliação em relação ao resultado da simulação.

Para a variação de -15% no critério econômico obteve-se o seguinte resultado para os fluxos positivo e negativo (Quadro 5.8):

Quadro 5.8 – Cálculo dos fluxos para variação de -15%

Alternativas	ϕ^+	ϕ^-
A1	1,2975	0,6675
A2	1,1089	0,8762
A3	0,3925	1,5725
A4	1,1512	0,8339

Assim, de acordo com o fluxo de sobreclassificação (Figura 5.3) verifica-se que não houve alteração na ordenação das alternativas, permanecendo o resultado obtido na simulação demonstrando que o sistema é robusto e as decisões obtidas confiáveis.

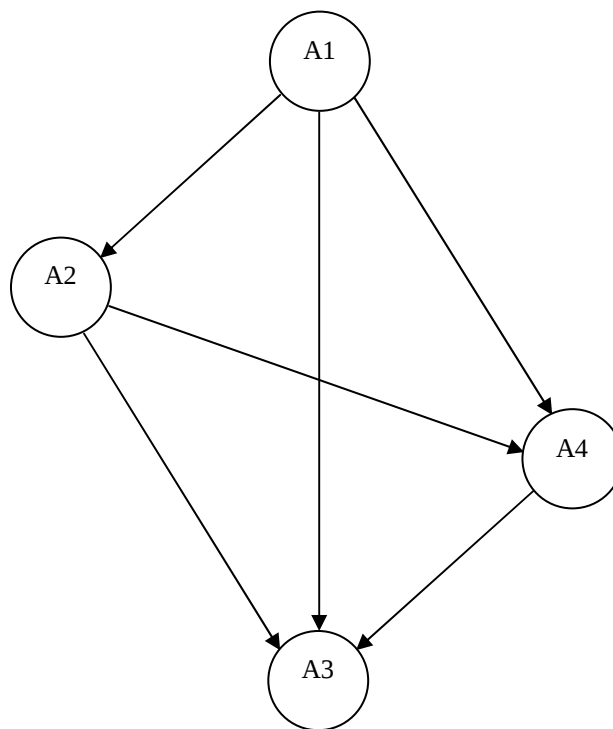


Figura 5.3 – Fluxo de sobreclassificação das alternativas para variação de -15%

5.3 Considerações finais

O problema apresentado no estudo visa priorizar técnicas compensatórias de drenagem urbana para tentar solucionar problemas de drenagem. Então, uma alternativa considerada ideal seria aquela que apresentasse um bom desempenho em sob todos os pontos de vista, porém, sabe-se que conciliar bons desempenhos em relação a todos os critérios não é uma tarefa fácil, já que na maioria dos casos para se alcançar um bom desempenho em um determinado aspecto, requer a perda de desempenho em outro aspecto.

Porém, essa ideia de compensar desempenhos entre os critérios, no caso de problemas de drenagem urbana, não é uma boa política para ser adotada, visto que pode gerar situações insustentáveis. Por exemplo, uma alternativa pode ser muito boa sob o ponto de vista hidrológico, mas apresentar um custo muito elevado ou causar grande risco à saúde da população. Portanto, o próprio contexto direciona o problema para uma abordagem de sobreclassificação, não admitindo compensações entre os critérios, assim, buscam-se alternativas que melhor equilibrem os principais fatores envolvidos com a estrutura de preferência do decisor.

Em geral os métodos de sobreclassificação são decompostos em duas etapas: a primeira refere-se a construção de uma relação de sobreclassificação, que representa as preferências estabelecidas pelo decisor, e a segunda refere-se a exploração dessa relação de sobreclassificação para apoiar o decisor na resolução do problema (BRANS & MARESCHAL, 2002).

Dentre os métodos baseados na relação de sobreclassificação, foi selecionado o PROMETHEE I para trabalhar o problema apresentado no estudo, cujo objetivo é a ordenação das técnicas compensatórias de drenagem urbana para minimizar problemas de drenagem.

O resultado do método PROMETHEE I fornece uma pré-ordem parcial, que é obtida por meio da intersecção dos dois fluxos de sobreclassificação, o fluxo positivo e o fluxo negativo. Neste ordenamento parcial, além da relação de preferência e indiferença, admite-se também a incomparabilidade entre as alternativas (BRANS & MARESCHAL, 2002).

Na simulação numérica apresentada, em especial, não houve nenhuma relação de indiferença ou incomparabilidade entre as alternativas, mas vale ressaltar que dependendo dos valores adotados pelo decisor para os parâmetros de avaliação poderão surgir esses tipos de relações entre as alternativas. Assim, esta aplicação não deve ser generalizada, trata-se apenas de um caso particular.

6 CONCLUSÕES

As inundações são fenômenos correntes em grandes cidades, sua principal causa é, frequentemente, atribuída ao intenso processo de urbanização que acarreta a impermeabilização do espaço urbano, reduzindo a infiltração de água no solo e consequentemente aumentando o volume superficial escoado.

A ocorrência de inundações tem graves implicações tais como: perdas materiais e humanas, interrupção de atividade econômica, contaminação por doenças de veiculação hídrica, contaminação dos aquíferos, redução no nível do lençol freático, aumento da temperatura, aumento da produção de sedimentos assoreando os sistemas de drenagem, entre outros, por isso devem ser combatidas de maneira mais adequada possível. Assim, é necessário que a tomada de decisão durante a escolha das medidas a serem adotadas no combate sejam bem estruturadas e avaliadas a luz de critérios bem definidos.

O objetivo do presente trabalho foi a construção de um modelo que pudesse auxiliar a tomada de decisão na escolha de alternativas para controle de inundações, através de uma abordagem de sobreclassificação incorporando aspectos ambientais, sociais econômicos e hidrológicos.

Para atingir o objetivo foi apresentado um referencial teórico sobre o fenômeno de inundações, conhecendo suas principais causas e consequências, algumas medidas alternativas (técnicas compensatórias estruturais) para amenizar o fenômeno de inundações, que foram utilizadas no modelo. Além de um referencial sobre decisão multicritério que apresentou diversos métodos multicritérios dentre eles a família PROMETHEE.

O modelo foi baseado no PROMETHEE I que fornece uma pré-ordem parcial a partir de duas pré-ordens obtidas através dos fluxos positivo e negativo. Além disso, foram definidos 7 subcritérios (C1a – impacto na qualidade de água, C1b – sustentabilidade, C2a – risco à saúde da população, C2b – aceitação da sociedade, C3a – custo de instalação, C3b – custo de manutenção e C4a – redução da vazão de pico) que permitiu avaliar cada alternativa sob a perspectiva de diversos aspectos.

No trabalho foi apresentada uma aplicação para ilustrar o modelo proposto. Vale ressaltar que a aplicação utilizou poucas alternativas, porém, em casos reais poderão existir muitas alternativas a depender do local considerado.

É importante destacar que a fase de construção da matriz deve ser realizada com bastante cuidado, visto que qualquer avaliação equivocada dos parâmetros irá refletir no

resultado e poderá fornecer um resultado com pouca veracidade sobre a real preferência do decisor.

Assim, o estabelecimento de critérios bem definidos, a atribuição de pesos aos critérios refletindo sua importância relativa e a utilização de escalas verbais facilitando a avaliação dos critérios que não podem ser avaliados numericamente quando as alternativas são comparadas entre si, permitem que o modelo proposto indique as alternativas de controle de inundação mais favoráveis para cada situação de problema de drenagem urbana.

O modelo se mostrou sensível às variações impostas. Quando as alternativas têm avaliações muito próximas em determinados critérios, qualquer variação no parâmetro peso deste critério, por exemplo, poderá interferir na ordem de preferência entre as alternativas. Portanto, essa aplicação não pode ser generalizada, é válida para o caso específico apresentado.

Apesar disso, o modelo se mostra bastante útil e eficaz quando bem utilizado e, principalmente, quando o decisor está certo em relações aos seus objetivos e suas preferências.

6.1 Sugestões para futuros trabalhos

A seguir são apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos:

- ✓ Aplicar a metodologia em outros cenários
- ✓ Considerar outras alternativas no conjunto
- ✓ Reavaliar os parâmetros definidos pelos decisor e verificar mudanças ocorridas
- ✓ Aplicar outros métodos multicritérios de apoio à decisão na fase de avaliação das alternativas e comparar com a sistemática apresentada
- ✓ Avaliar o problema com outros decisores.

REFERÊNCIAS

- ALCOFORADO, R. G.; CIRILO, J. A. Sistema de Suporte à Decisão para Análise, Previsão e Controle de Inundações. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** – RBRH. vol. 6, n.4, p.133-153, Out/Dez 2001.
- ALMEIDA, A. T. **Conhecimento e Uso de Métodos Multicritério de Apoio à Decisão**. Ed. Universitária. Recife, 2010.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. **Aplicação com Métodos Multicritério de Apoio à Decisão**. Ed. Universitária. Recife, 2003.
- ALVES, F. A. O.; COSTA, A. R. Estimativa de Volume para Reservatório de Detenção no Controle de Cheias Urbanas. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste**. ABRH. Cuiabá, 2007.
- ANDRADE FILHO, A. L.; SZÉLIGA, M. R.; ENOMOTO, C. F. Estudo de Medidas Não-estruturais para controle de inundações urbanas. **Publicatio UEPG** – Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias. Ano 6, n.1, p.69-90, 2000.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana**. ABRH. Porto Alegre, 2005.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple Criteria Decision Analysis**. Kluwer Academic Publishers. 2002.
- BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.
- BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. **PROMETHEE – GAIA: une méthodologie d'aide à la décision em présence de critères multiples**. Ellipses, Paris, France, 2002.

CAMPELLO DE SOUZA, F. M. **Decisões Racionais em Situações de Incerteza**. Ed. Universitária. Recife, 2002.

CETESB. **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. 3º Ed. São Paulo. ASCETESB, 1986.

ENSSLIN, S. R. A estruturação no processo decisório de problemas multicritérios complexos. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Produção – UFSC. Florianópolis, 1997.

GOMES, L. F. M. A.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão Gerencial: Enfoque Multicritério**. Ed. Atlas. 3º Edição. Rio de Janeiro, 2009.

IPH (Instituto de Pesquisas Hidráulicas). **Plano Diretor de Drenagem Urbana – Manual de Drenagem Urbana de Proto Alegre**. UFRGS. Porto Alegre, 2005.

MENDONÇA, E. C. Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. Dissertação de Mestrado. Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia de Civil – UnB. Brasília, 2009.

MORAIS, D. C. Avaliação multicritério de investimentos associados a sistemas para redução de perdas em sistemas de abastecimento de água. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Produção – UFPE. Recife, 2002.

MORAIS, D. C. Modelagem multicritério em grupo para planejamento estratégico do controle de perdas no abastecimento de água. Tese de Doutorado. Engenharia de Produção – UFPE. Recife, 2006.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Avaliação multicritério para adequação de sistema de redução de perdas de água. **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. ENEGEP – ABEPRO. Curitiba, 2002.

MOUSSEAU, V; SLOWINSKI, R. Inferring an ELECTRE TRI model from assignment examples. **Journal of Global Optimization**. vol.12, p.157-174, 1998.

- POMPERMAYER, R. S.; PAULA JUNIOR, D. R.; CORDEIRO NETTO, O. M. Análise Multicritério como Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos: O Caso das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**. vol. 12, p. 117-127, 2007.
- ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- SCS (Soil Conservation Service). **National Engineering Handbook**. Washington: USDA, 1972.
- SEOK-JIN KANG; SEUNG-JAE LEE; KYUNG-HOON LEE. A Study on the Implementation of non-structural measures to reduce urban flood damage – Focused on the Survey Results of the Experts. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering – JAABE**. vol. 8, n.2, p.385-392, Nov/2009.
- SIMONS, D. B.; PONCE, V. M.; LI, R. M.; CHEN, Y. H.; GESSLER, J.; WARD, T. J.; DUONG, N. **Flood flows, stages and damages**. Colorado State University. Fort Collins, 1977.
- SOUZA, V. C. B.; GOLDENFUM, J. A. Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: um estudo experimental. **Anais**. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 1999.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (org.) **Drenagem Urbana**. Ed. da Universidade UFGRS/ABRH. 1º Edição. Porto Alegre, 1995.
- TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. Estudos Avançados - USP. vol. 22, n.63, p.97-112, 2008.
- TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Saneamento para todos – Vol 4. Ministério das Cidades. Brasília, 2006.

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Ed. da Universidade UFRGS/ABRH. 4º Edição. Porto Alegre, 2009.

URBONAS, B.; STAHR, D. **Stormwater: Best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

VINCKE, P. **Multicriteria Decision-Aid**. John Wiley & Sons. 1992.

ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDHRY, F. H. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** – RBRH. vol. 7, n. 1, p. 81-102, 2002.