

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**

**SISTEMÁTICA DE AUXÍLIO À DECISÃO PARA A SELEÇÃO DE
ALTERNATIVAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS**

JUSSANÃ MILOGRANA CÔRTEZ

**ORIENTADOR: NÉSTOR ALDO CAMPANA
CO-ORIENTADOR: MÁRCIO BENEDITO BAPTISTA**

**TESE DE DOUTORADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

**PUBLICAÇÃO: PTARH.TD – 05/09
BRASÍLIA-DF: JULHO/2009**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**

**SISTEMÁTICA DE AUXÍLIO À DECISÃO PARA A SELEÇÃO DE
ALTERNATIVAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS**

JUSSANÃ MILOGRANA CÔRTEZ

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.

APROVADA POR:

Prof. Néstor Aldo Campana, Dr. (ENC/FT/UnB)
(Orientador)

Prof. Márcio Benedito Baptista, Dr. (EHR/UFGM)
(Co-Orientador)

Prof. Ricardo Silveira Bernardes, PhD. (ENC/FT/UnB)
(Examinador Interno)

Prof. Flávio César Borba Mascarenhas, Dr. (COPPE/UFRJ)
(Examinador Externo)

Prof. Eduardo Mário Menciondo, Dr. (USP/SC)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 10 de Julho de 2009.

FICHA CATALOGRÁFICA

MILOGRANA, JUSSANÃ

Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas (2009)

xxvi, 316p., 297mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2009). Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

1. Planejamento do controle de inundações 2. Indicadores

3. Auxílio à decisão

4. Avaliação de alternativas

1. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MILOGRANA, J. (2009). Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. TD – 05/09, Departamento de engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 316p.

CESSÃO DE CRÉDITOS

AUTOR: Jussanã Milograna Côrtes

TÍTULO: Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas.

GRAU: Doutor

ANO: 2009

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito.

Jussanã Milograna Côrtes

Rua 235 n. 741 apto. 1202 – Setor Leste Universitário

CEP.: 74605-050 – Goiânia - GO

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Professor Néstor Aldo Campana e Professor Márcio Benedito Baptista, pela paciência, incentivo e apoio no desenvolvimento desta tese.

Ao professor Márcio Benedito Baptista por compartilhar comigo sua experiência, pela sua dedicação, incentivo e suporte no decorrer do desenvolvimento desta tese, e pelo estímulo em momentos cruciais, fazendo dele hoje, mais que um orientador, mas um grande amigo.

À Professora Sylvie Barraud do INSA de Lyon pela disponibilidade em me receber no seio do laboratório, pelo apoio e por me conceder o privilégio de dividir sua valiosa experiência e conhecimentos, possibilitando a produção de parte desta tese.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília pelos conhecimentos transmitidos durante o período de mestrado e doutorado. Aos funcionários do PTARH pela convivência agradável.

Aos professores e funcionários do EHR-UFMG em especial aos professores Mário Cicarelli e Nilo Nascimento pelos dados disponibilizados.

Ao CNPq e à CAPES pelo auxílio financeiro fundamental durante o período de desenvolvimento da tese.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás por possibilitar a realização desta tese.

Aos especialistas consultados para validação dos indicadores: Ademir Pacelli Barbassa, Adilson Pinheiro, Carlos Vaz de Campos, Flávio César Borba Mascarenhas, Gustavo Barbosa Lima da Silva, Joel Avruch Goldenfum, Jonathan Parkinson, José Roberto Cabral, Leonardo Mitre Alvim de Castro, Vladimir Caramori e aos membros da Defesa Civil e do Corpo de Bombeiros de Belo Horizonte e de Minas Gerais, representados pelo Major Estevo, Coronel Lucas e o Engenheiro Floriano Costa. A este último agradeço, também, pela disposição e presteza em todo o processo de levantamento dos dados para aplicação da metodologia em

Belo Horizonte.

Aos entrevistados da COPASA: Samir Abud Mauad (Belo Horizonte), Tales Mota, Eduardo Fernando de Vasconcelos e Benedito Cláudio Mota (Itajubá); Benedito Elsen Ribeiro (Santa Rita do Sapucaí) e Alexandre José Grego (Pouso Alegre).

Aos entrevistados da CEMIG: Marcelo de Deus Melo, Rodolfo de Souza Monteiro, Helder Galhardo (Belo Horizonte); Benedito Cipriano, Luiz Eduardo Fuzatto e José Walber Cabral (Pouso Alegre); Camilo França e Edson Silva (Itajubá); e Paulo Ribeiro da Costa (Santa Rita do Sapucaí).

À Prefeitura de Contagem e à SUDECAP na pessoa de Pedro Heller. Ao Sr. Gerardo de Abreu Costa (Santa Rita do Sapucaí) e Ney Lopes Procópio (Prefeitura de Pouso Alegre); Marcelo Maldonado (EMBRATEL-BH), Sérgio Rubião, Jorge Dastre (prefeitura de Itajubá) e José Eduardo Aguiar (empresa Recuperação-BH).

Ao Professor Laurent Schmitt da Université Lyon I pelo compartilhamento dos seus conhecimentos e auxílio na formulação dos indicadores.

Aos colegas do INSA, Abel, Adrien, Andrés, Céline, Hamouda e Miguel pelos momentos agradáveis passados durante a minha permanência em Lyon. Em especial agradeço a Rennée, Alain e Marjolaine pela amizade e companheirismo, sem esquecer as grandes amigas brasileiras Priscilla e Marcele. Aos professores do laboratório Bernard Chocat, Pascal Le Gauffre, Frédéric Cherqui e Gislain Lipeme-Kouyi pelo acolhimento, e aos funcionários Valérie Orhon, Dominique Babaud, Sylvie Marchanoff, Christian Ambroise.

Ao colega Nilson Florentino pelo auxílio no desenvolvimento de uma etapa crucial da tese.

À Priscilla e Flávio pela companhia, amizade e apoio incondicional, além, é claro, por compartilharmos as maravilhosas paisagens francesas juntos. A esta agradeço o apoio e amizade demonstrados desde a minha chegada a Lyon até o final da tese.

Aos amigos feitos durante esse período, em especial à Jaqueline e Zago, Gustavo e Andrea

Fernán, Jazielli, José Ricardo, Alessandra, Luciana, Roberta, Rosângela, Orlandina, Ana Clara, Janaína, Fabrícia e Vítor. E aos amigos de longa data que estiveram sempre presentes: Bernadete e Nilton, Fernanda, Fábio e Marina. Ao Fabinho agradeço pela paciência e auxílio em diversos momentos.

Aos amigos do EHR: Mauro, Wilson, Márcio, Márcia e Priscilla, pelas agradáveis pausas do café que foram fundamentais para manutenção do meu bom humor durante toda a minha estada em Belo Horizonte.

À minha amada família, meus pais, irmãos, sobrinhos, e meu esposo, por sempre me incentivarem e acreditarem em mim, criando mecanismos de diminuir o impacto da minha ausência e se fazerem sempre presentes.

DEDICATÓRIA

À minha família

RESUMO

SISTEMÁTICA DE AUXÍLIO À DECISÃO PARA A SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS

Autor: Jussanã Milograna Côrtes

Orientador: Néstor Aldo Campana

Co-Orientador: Márcio Benedito Baptista

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, Julho de 2009

Neste trabalho foi desenvolvida uma sistemática de auxílio à decisão para a seleção de alternativas de controle de enchentes urbanas, contemplando aspectos sociais, ambientais, de saúde pública, hidrológicos e financeiros. Adicionalmente, foi desenvolvida uma sistemática de avaliação de danos diretos à infraestrutura urbana identificando pontos vulneráveis de cada sistema e prevendo a extensão dos danos, baseada em entrevistas a concessionárias de serviços, prefeituras e Defesa Civil de municípios do estado de Minas Gerais. Os sistemas avaliados foram: água, esgotamento sanitário, drenagem, energia elétrica, viário e limpeza pública. Para a análise de desempenho das alternativas foram formulados indicadores para os critérios “Impactos sobre a população”, “Impactos sobre o meio” e “Impactos hidrológicos”, utilizando resultados de modelagem hidrológica, hidráulica e de geoprocessamento. A sistemática foi aplicada ao município de Itajubá para alternativas: situação atual, implantação de uma barragem, implantação de diques laterais e de um sistema de alerta. A análise desempenho-custo foi efetuada pela agregação dos indicadores em um “Índice de Desempenho” e pelo “Índice de Custo”, determinado a partir dos custos de implantação, manutenção e operação das intervenções, dos danos diretos a habitação, comércio e serviços, e à infraestrutura urbana. Os resultados mostraram: i) a aplicabilidade da metodologia proposta no auxílio à decisão para a seleção de alternativas para o controle de inundações; ii) uma variação na ordem de 10% dos danos diretos à infraestrutura em relação aos demais setores avaliados. Em relação à análise de desempenho, esta se mostrou aplicável e pouco sensível a variações nos valores dos indicadores, evidenciando a robustez da mesma. A sistemática apontou a preferência da alternativa da barragem para solução dos problemas relacionados às inundações no município de Itajubá.

Palavras-chave: Danos à infraestrutura urbana, Auxílio à decisão, Controle de inundações urbanas, Indicadores de vulnerabilidade

ABSTRACT

A DECISION AID TOOL TO SELECT FLOOD CONTROL ALTERNATIVES IN URBAN AREAS

Author: Jussanã Milograna Côrtes

Supervisor: Néstor Aldo Campana

Co-Supervisor: Márcio Benedito Baptista

Graduate Program in Environmental Technology and Water Resources

Brasília, Brazil July, 2009.

In this work, a decision aid tool was developed to select flood control alternatives in urban areas based on social, environmental, public health, hydrological and financial aspects. Additionally, a procedure to assess direct damages to the infrastructure was developed in order to identify vulnerable points and related damages to water supply, as well as to drainage, sanitary and electrical distributions systems, and to road networks and urban solid waste management, on the basis of interviews with public and other municipal authorities. The performance analysis among different alternatives was based on indicators, as resulting from hydrologic, hydraulic and geoprocessing models, and summarized according to the following criteria: “Population Impacts”, “Environmental Impacts” and “Hydrological Impacts”. The above described procedure was applied to the town of Itajubá, located in the Brazilian state of Minas Gerais, according to the following four scenarios: current situation, dam building, laterals levees and the implementation of flood warning system. The cost-performance assessment was made by aggregating the indicators in a “Performance Index” and a “Cost Index” as defined on the basis of building, maintenance and operation costs, direct damages to households, commerce and services sectors, as well as infrastructure direct damages. The results showed: i) the methodology is applicable to select flood control alternatives; ii) and that direct infrastructure flood damages represent around 10% of the total damaged assessed in the others sectors. The performance analysis showed also to be applicable and to be less sensitive to variation in indicators values, thus proving its robustness. The procedure pointed out the dam building alternative as the preferable one to solve flood problems in Itajubá.

Key-words: Infrastructure flood damages; Decision aid; Urban flood control; Vulnerability indicators

RÉSUMÉ

SYSTÉMATIQUE D'AIDE À LA DÉCISION POUR LA SÉLECTION D'ALTERNATIVES DE CONTRÔLE DES INONDATIONS URBAINES

Auteur : Jussanã Milograna Côrtes

Directeur de Thèse : Néstor Aldo Campana

Co- Directeur de Thèse : Márcio Benedito Baptista

**Programme de Recherche en Technologie Environnementale et Ressources en Eau
Brasília, Brésil, juillet 2009**

Cet travail a pour but de développer une systématique d'aide à la décision pour la sélection d'alternatives de contrôle des inondations urbaines, qui considère les aspects sociaux, environnementaux, de santé publique, hydrologiques et financières. En complément a été développée une systématique d'évaluation des dommages dûs aux inondations sur l'infrastructure urbaine de façon à identifier les points fragiles de chaque système et aussi prévoir l'extension des dommages. Cette systématique est basée sur une série d'interviews avec les concessionnaires des services publics, la mairie et la sécurité civile des villes de l'état de Minas Gerais (Brésil). Les systèmes évalués sont : les services de distribution de l'eau, d'assainissement des eaux usées, de drainage urbain, d'électricité, de voirie et de propreté. Pour l'évaluation de la performance des alternatives, des indicateurs ont été créés pour les critères "Impacts sur la population", "Impacts sur l'environnement" et "Impacts hydrologiques". Ils utilisent les résultats de la modélisation hydrologique, hydraulique et de géotraitement (GIS). La systématique a été appliquée à quatre scénarios à la ville d'Itajubá : la situation actuelle, l'implantation d'un barrage, l'implantation de digues latérales et l'implantation d'un système d'alerte. L'analyse performance-coût a été faite par l'agrégation des indicateurs en un "Indice de Développement" et par un "Indice de Coût" basé sur les coûts d'implantation, manutention et opération des interventions, des dommages directs sur les habitations, commerces et services et les dommages à l'infrastructure urbaine. Les résultats ont montré : i) l'applicabilité de la méthodologie proposée en aide à la décision pour la sélection des alternatives de contrôle d'inondations; ii) une variation d'ordre de 10% des dommages directs subis par les infrastructures urbaines par rapport aux autres secteurs évalués. L'analyse de performance s'est montrée applicable et peu sensible aux variations des valeurs des indicateurs et est averée robuste. La systématique a montré une préférence pour le barrage comme solution aux problèmes d'inondations pour la ville d'Itajubá.

Mots clés : Dommages à l'infrastructure urbaine ; Aide à la décision ; Contrôle des inondations ; Indicateurs de vulnérabilité.

SUMÁRIO

1.0 - INTRODUÇÃO.....	1
2.0 – OBJETIVOS E ETAPAS METODOLÓGICAS	5
2.1 – OBJETIVOS GERAIS	5
2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2.3 – ETAPAS METODOLÓGICAS	5
2.3.1 – Revisão bibliográfica e fundamentação teórica.....	7
2.3.2 - Mapeamento e caracterização da área.....	7
2.3.3 – Definição das alternativas de cenários.....	8
2.3.4 – Indicadores de vulnerabilidade para análise do desempenho dos cenários	8
2.3.5 – Indicadores de custo	8
2.3.6 – Análise desempenho-custo	9
3.0 – INUNDAÇÕES URBANAS.....	10
3.1 – TIPOS DE INUNDAÇÕES	10
3.1.1 – Inundações lentas ou inundações fluviais.....	11
3.1.2 – Inundações rápidas ou inundações por cheias torrenciais	11
3.1.3 – Inundações por escoamento urbano.....	11
3.1.4 – Inundações pelas torrentes.....	12
3.1.5 – Submersões marinhas	12
3.1.6 – Inundações estuarinas	12
3.1.7 – Inundações por remanso da rede de drenagem pluvial.....	12
3.1.8 – Inundações por elevação do nível do lençol freático.....	13
3.2 – IMPACTOS DAS INUNDAÇÕES	13
3.2.1 – Risco de inundação.....	14
3.2.2 – Abordagens utilizadas na determinação das áreas de risco de inundação	18
3.3 - DANOS DECORRENTES DAS INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS	19
3.3.1 - Danos às residências	23
3.3.2 - Danos aos setores de comércio e serviços.....	26
3.3.3 - Danos diretos às indústrias.....	27
3.3.4 - Danos à saúde humana	28
3.3.5 - Atendimento a desabrigados	29
3.4 – MEDIDAS PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS	29
3.5.1 - Classificação das técnicas compensatórias	30
3.5.1.1 - Técnicas Não-Estruturais	31
3.5.1.2 - Técnicas Estruturais	35
3.5.2 – Análise da viabilidade das técnicas compensatórias estruturais.....	42
3.6 – CONSIDERAÇÕES PARCIAIS.....	45
4.0 - ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE ARRANJOS DE MEDIDAS PARA O CONTROLE	

DE INUNDAÇÕES	46
4.1 – TÉCNICAS APLICADAS À TOMADA DE DECISÃO	46
4.1.1 - Análises de critério único.....	46
4.1.1.1 - Análise Custo-Benefício	47
4.1.1.2 - Análise Custo Efetividade.....	48
4.1.1.3 - Análise Risco-Benefício.....	49
4.1.1.4 - Análise Decisória	49
4.1.2 - Análise Multicritério	50
4.1.3 - Classificação dos métodos multicritério	51
4.1.4 - Estudo de Impactos	53
4.1.5 - Indicadores para a comparação de arranjos alternativos	54
4.1.5.1 - Características dos indicadores	55
4.1.5.2 - Critérios para a seleção de indicadores	56
4.1.6 - Ciclo de tomada de decisão e o uso de indicadores	57
4.1.6.1 - Identificação do problema.....	58
4.1.6.2 - Crescimento da consciência pública e conhecimento do problema	58
4.1.6.3 - Etapa de formulação.....	59
4.1.6.4 - Etapa de implementação	59
4.1.6.5 - Etapa de avaliação.....	59
4.1.7 - O uso de indicadores na análise de sistemas de drenagem urbana com múltiplos critérios	60
4.2 - MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA APLICADA	68
4.2.1 - Conceitos básicos	69
4.2.2 - Modelos hidrológicos.....	71
4.2.3 - Modelos de propagação.....	72
4.2.4 - Modelos hidráulicos	72
4.3 – GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO DAS INUNDAÇÕES URBANAS	74
4.4 – ESTUDOS PARA DETERMINAÇÃO DO RISCO E DE DANOS DE INUNDAÇÃO COM BASE EM GEOPROCESSAMENTO	77
4.5 – CONSIDERAÇÕES PARCIAIS.....	83
5.0 – AVALIAÇÃO DE DANOS DIRETOS À INFRAESTRUTURA URBANA.....	84
5.1 - DANOS À INFRAESTRUTURA URBANA	84
5.1.1 - Danos ao sistema viário	85
5.1.3 - Danos a veículos rodoviários	86
5.1.4 - Danos aos serviços de telecomunicações	87
5.1.5 - Danos ao fornecimento e distribuição de energia elétrica.....	87
5.1.6 - Danos ao sistema de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto.....	88
5.1.7 - Operações necessárias ao restabelecimento das condições regulares	89

5.1.8 – Análise da susceptibilidade física dos sistemas.....	90
5.1.8.1 - Distribuição de energia elétrica.....	90
5.1.8.2 - Abastecimento de água potável.....	91
5.1.8.3 - Esgotamento sanitário	91
5.1.8.4 - Rede de telecomunicações	92
5.2 – LEVANTAMENTO DE DADOS PARA A AVALIAÇÃO DE DANOS À INFRAESTRUTURA URBANA.....	93
5.2.1 - Levantamento efetuado em Belo Horizonte e região metropolitana	94
5.2.2 - Levantamento efetuado em Itajubá	95
5.2.2.1 - Informações recolhidas na CEMIG.....	96
5.2.2.2 - Informações recolhidas na COPASA.....	96
5.2.2.3 - Informações recolhidas em outros setores do município	98
5.2.3 - Levantamento efetuado em Santa Rita do Sapucaí	98
5.2.3.1 - Informações recolhidas na CEMIG.....	99
5.2.3.2 - Informações recolhidas na COPASA.....	99
5.2.4 - Levantamento efetuado em Pouso Alegre.....	101
5.2.4.1 - Informações recolhidas na CEMIG.....	101
5.2.4.2 - Informações recolhidas na COPASA de Pouso Alegre.....	102
5.2.4.3 - Informações recolhidas na Prefeitura Municipal de Pouso Alegre	103
5.3 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS LEVANTADOS E A SUSCEPTIBILIDADE FÍSICA DOS SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA ÀS INUNDAÇÕES	104
5.4 – SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA A AVALIAÇÃO DE DANOS DIRETOS À INFRAESTRUTURA URBANA.....	106
5.4.1 - Sistema de abastecimento de água	106
5.4.2 - Sistema de esgotamento sanitário	111
5.4.3 - Sistema de drenagem de águas pluviais urbanas.....	113
5.4.4 - Sistema de distribuição de energia elétrica	117
5.4.5 - Sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos	118
5.4.6 - Sistema viário.....	121
5.5 – CONSIDERAÇÕES PARCIAIS.....	123
6.0 – PROPOSIÇÃO DE SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CENÁRIOS PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÕES.....	124
6.1 – REFLEXÕES PARA A PROPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS E INDICADORES	125
6.1.1 - Aspectos Sanitários e de Saúde pública	126
6.1.2 - Aspectos morfológicos, hidrológicos e ambientais.....	128
6.1.3 - Aspectos sociais	134
6.2 – PROPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS E INDICADORES DE VULNERABILIDADE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CENÁRIOS	135
6.2.1 - Critério “Impactos Ambientais e de Saúde Pública”.....	136

6.2.1.1 - Contaminação da água de inundação por esgoto sanitário (I_{CS}).....	136
6.2.1.2 - Proliferação de vetores alados (I_{PV})	137
6.2.1.3 - Risco de Poluição Acidental (I_{PA})	138
6.2.1.4 - Alteração potencial na qualidade da água (I_{QA})	140
6.2.1.5 - Alteração na Morfologia Fluvial (I_{MF})	141
6.2.1.6 - Alteração potencial sobre o volume escoado e recarga de aquífero (I_{VE})	144
6.2.2 – Critério “Impactos Sociais na Área Afetada”	145
6.2.2.1 – Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos (I_{EL}).....	146
6.2.2.2 – População afetada pela inundação (I_{PO}).....	147
6.2.2.3 – Realocação da População (I_{RP})	148
6.2.3 – Critério “Impacto Hidrológico a Jusante da Área Afetada”	149
6.2.3.1 – Inundação a Jusante (I_{IJ})	149
6.2.3.2 – Erosão ou sedimentação a jusante (I_{EJ}).....	154
6.3 – ANÁLISE CRÍTICA DO GRUPO DE CRITÉRIOS E INDICADORES DE VULNERABILIDADE	155
6.3.1 - Ponderação dos Indicadores	155
6.3.2 - Análise de importância de critérios e indicadores	157
6.3.3 - Método AHP para ponderação dos indicadores	159
6.3.4 - Métodos de Atribuição Direta do Peso ou Pontuação Direta	161
6.3.5 - Avaliação dos especialistas	162
6.3.5 - Análise dos comentários efetuados pelos especialistas.....	166
6.4 – CONSOLIDAÇÃO DO CONJUNTO DE CRITÉRIOS E INDICADORES DE DESMPENHO	168
6.4.1 – Realocação de critérios e indicadores.....	168
6.4.2 – Indicadores ligados ao critério “Impactos sobre a população”	169
6.4.2.1 - População afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades (I_{PE})	169
6.4.2.2 - Proliferação de vetores alados (I_{PV})	171
6.4.2.3 - Risco de Poluição Acidental (I_{PA})	171
6.4.2.4 - Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos (I_{EL}).....	171
6.4.2.5 - Realocação da População (I_{RP}).....	171
6.4.3 – Critério “Impactos sobre o meio”	171
6.4.3.1 - Alteração na Morfologia Fluvial (I_{MF})	172
6.4.3.2 - Alteração potencial na qualidade da água (I_{QA})	172
6.4.3.3 - Alteração potencial sobre o volume escoado e recarga de aquífero (I_{VE})	172
6.4.4 – Critério “Impactos hidrológicos”	173
6.4.4.1 – Inundação a jusante das intervenções (I_{IJ}).....	173
6.4.4.2 - Erosão ou sedimentação a jusante das intervenções (I_{EJ}).....	174
6.4.5 – Ponderação final dos indicadores	174
6.5 – AGREGAÇÃO DOS INDICADORES.....	175

6.6 – NORMALIZAÇÃO DOS INDICADORES.....	180
6.6.1 - Normalização do indicador de população afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades (I _{PE}).....	180
6.6.2 -Normalização do indicador de proliferação de vetores alados (I _{PV}).....	181
6.6.3 - Normalização do indicador de poluição acidental (I _{PA}).....	181
6.6.4 - Normalização do indicador de criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos (I _{EL}).....	181
6.6.5 - Normalização do indicador de realocação da população (I _{RP}).....	182
6.6.6 - Normalização do indicador de morfologia fluvial (I _{MF}).....	183
6.7 – INDICADORES DE CUSTO	183
6.7.1 – Custos de implantação.....	184
6.7.2 – Custos de manutenção e operação.....	184
6.7.3 – Custos dos danos decorrentes das inundações.....	186
6.7.3.1 – Danos às edificações e conteúdo.....	186
6.7.3.2 – Danos à infraestrutura urbana.....	188
6.8 – ANÁLISE DESEMPENHO-CUSTO	188
6.9 – CONSIDERAÇÕES PARCIAIS.....	190
7.0 – CONSOLIDAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA – ESTUDO DE CASO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ - MG.....	191
7.1 – DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	191
7.2 – CENÁRIOS DE ANÁLISE	197
7.2.1 – Situação atual (Cenário A).....	197
7.2.2 – Implantação de sistema de contenção de cheias (Cenário B).....	198
7.2.3 – Implantação de dique de contenção (Cenário D).....	200
7.2.4 – Implantação de um sistema de previsão e alerta (Cenário S).....	204
7.3 – MODELAGEM APLICADA	205
7.4 – CÁLCULO DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE PARA OS CENÁRIOS	220
7.5 – CÁLCULO DOS INDICADORES DE CUSTO.....	225
7.5.1 – Danos à habitação, comércio e serviços.....	225
7.5.1 – Danos à infraestrutura.....	227
7.5.1.1 – Danos ao sistema viário.....	228
7.5.1.2 – Danos ao sistema de esgotamento sanitário.....	229
7.5.1.3 – Danos ao sistema de abastecimento de água.....	230
7.5.1.4 – Danos ao sistema de drenagem de águas pluviais.....	232
7.5.1.5 – Danos ao sistema de distribuição de energia elétrica.....	233
7.5.1.6 – Custos relativos ao restabelecimento das condições normais de tráfego e limpeza de áreas públicas.....	234
7.5.2 – Custos de implantação e manutenção.....	235
7.5.2.1 - Cenário A.....	236

7.5.2.2 - Cenário B	236
7.5.2.3 - Cenário D	237
7.5.2.4 - Cenário S.....	240
7.6 – CONSIDERAÇÕES PARCIAIS.....	241
8.0 – ANÁLISE DOS RESULTADOS	242
8.1 – MODELAGEM APLICADA	242
8.2 – INDICADORES DE VULNERABILIDADE	243
8.3 – INDICADORES DE CUSTO	245
8.4 – ANÁLISE DESEMPENHO-CUSTO	252
9.0 – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	258
9.1 - CONCLUSÕES.....	258
9.1.2 - Sistemática de avaliação de danos à infraestrutura urbana	258
9.1.3 - Indicadores de vulnerabilidade e sistemática de auxílio à decisão	260
9.1.3 - Aplicação da sistemática ao estudo de caso	261
9.2 - PERSPECTIVAS.....	264
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	266
ANEXO A – CRITÉRIOS DE ESCOLHA DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS	278
ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA ...	285
ANEXO C – DOCUMENTO DE CONSULTA AOS ESPECIALISTAS E CURVAS PROFUNDIDADE - DANO	288
ANEXO D – FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM 3A E EQUIPAMENTOS DA REDE TELEMÉTRICA.....	308

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Qualificação da aleatoriedade em função da altura de submersão.....	16
Tabela 3.2 - Qualificação da aleatoriedade em função da altura de submersão e da velocidade do escoamento.....	17
Tabela 3.3 - Tipos de atividades no gerenciamento da planície de inundação.....	31
Tabela 3.4 - Soluções para o gerenciamento do uso do solo.....	33
Tabela 3.5 - Vocação e possibilidades das técnicas.....	44
Tabela 4.1-Tipologias de indicadores e medidas apresentadas por Kolsky e Butler (2002).....	62
Tabela 5.1 - Susceptibilidade física das redes de distribuição de energia elétrica.....	90
Tabela 5.2 - Susceptibilidade física dos sistemas de abastecimento de água.....	91
Tabela 5.3 - Susceptibilidade física das redes de saneamento.....	92
Tabela 5.4 - Características da vulnerabilidade das redes de telecomunicações.....	93
Tabela 5.5 - Descrição dos elementos do sistema de abastecimento de água para cálculo dos custos dos danos.....	109
Tabela 5.6 - Descrição dos elementos do sistema de esgotamento sanitário para cálculo dos custos dos danos.....	113
Tabela 5.7 - Descrição dos elementos do sistema de drenagem para cálculo dos custos dos danos...	116
Tabela 5.8 - Descrição dos elementos do sistema distribuição de energia elétrica para cálculo dos custos dos danos.....	118
Tabela 5.9 - Descrição dos elementos do sistema limpeza urbana para cálculo dos custos dos danos	121
Tabela 5.10 - Descrição dos elementos do sistema viário para cálculo dos custos dos danos.....	123
Tabela 6.1 - Ações previstas para a composição do indicador.....	143
Tabela 6.2 - Valor do indicador de melhoria da morfologia fluvial em relação à situação de ocupação atual.....	143
Tabela 6.3 - Escala de valores para avaliação do indicador I_{EL}	147
Tabela 6.4 - Escala de análise do indicador I_{EJ}	154
Tabela 6.5 - Coeficiente de Incoerência Aleatório (CIA).....	161
Tabela 6.6 - Pesos atribuídos aos critérios pelos especialistas.....	163
Tabela 6.7 - Análise estatística dos pesos dos critérios.....	163
Tabela 6.8 - Pesos dos indicadores calculados pelo Método AHP ponderados pelos pesos dos critérios.....	164
Tabela 6.9 - Índices de Incoerência encontrados pelo Método AHP.....	164
Tabela 6.10 - Pesos dos indicadores atribuídos pelos especialistas pelo Método de Atribuição Direta dos Pesos.....	165

Tabela 6.11 - Pesos finais dos indicadores	174
Tabela 6.12 - Escala de valores para avaliação do indicador I_{EL}	182
Tabela 6.13 - Escala de valores para avaliação do indicador I_{EL} normalizado	182
Tabela 7.1 - Análise de frequência de vazões de cheia	197
Tabela 7.2 - Alturas dos diques em cada seção topobatimétrica	201
Tabela 7.3 - Vazões com duração de 24 horas	207
Tabela 7.4 - Identificação dos cenários	221
Tabela 7.5 - Dados para determinação dos indicadores de vulnerabilidade.....	222
Tabela 7.6 - Resultado da aplicação dos indicadores de vulnerabilidade para os cenários definidos .	223
Tabela 7.7 - Indicadores de vulnerabilidade normalizados para os cenários	223
Tabela 7.8 - Pesos aplicados conforme a abordagem adotada	224
Tabela 7.9 - Análise do desempenho dos cenários nas diferentes abordagens.....	224
Tabela 7.10 - Distribuição de domicílios por classe social	226
Tabela 7.11 - Distribuição das empresas de Itajubá conforme a atividade	226
Tabela 7.12 - Distribuição do setor de serviços por ramo de atividade.....	226
Tabela 7.13 - Custo dos danos aos setores habitação, comércio e serviços	227
Tabela 7.14 - Composição de custo para a substituição de pavimento asfáltico.....	228
Tabela 7.15 - Custo dos danos ao sistema viário para os diferentes cenários	229
Tabela 7.16 - Custo de substituição de rede de esgoto em concreto	230
Tabela 7.17 - Custo dos danos ao sistema de esgotamento sanitário para os diferentes cenários.....	230
Tabela 7.18 - Custo de substituição dos elementos do sistema de abastecimento de água	231
Tabela 7.19 - Custo dos danos ao sistema de abastecimento de água	232
Tabela 7.20 - Custos de reparo e substituição dos elementos da rede de drenagem	233
Tabela 7.21 - Custo dos danos ao sistema de drenagem de águas pluviais.....	233
Tabela 7.22 - Custo de substituição de medidores	234
Tabela 7.24 - Custo da retirada do volume de detritos por m^3	235
Tabela 7.25 - Custos relativos à remoção de resíduos e limpeza pública	235
Tabela 7.26 - Custos de manutenção da barragem 3A	237
Tabela 7.27 - Custo de preparação das margens do rio Sapucaí	238
Tabela 7.28 - Custo de implementação dos diques laterais em terra.....	238
Tabela 7.29 - Custo de implantação de canal em concreto	238
Tabela 7.30 - Custo de substituição das pontes sobre o rio Sapucaí no trecho do dique em Itajubá...	239
Tabela 7.31 - Custos de manutenção do dique e canal lateral.....	240
Tabela 7.32 - Estimativa de custos de instalação da rede de monitoramento hidrológico para o rio Sapucaí no município de Itajubá	240
Tabela 7.33 - Custo de operação e manutenção do sistema de alerta.....	241

Tabela 8.1 - Áreas das superfícies ocupadas pelas manchas de inundação para os cenários	242
Tabela 8.2 - Resumo dos custos aplicados ao município de Itajubá	245
Tabela 8.3 - Custos dos cenários por habitante da zona urbana do município de Itajubá	252
Tabela 8.4 - Análise desempenho – custo pela média dos pesos	253
Tabela 8.5 - Análise desempenho – custo pela abordagem ambientalista.....	254
Tabela 8.6 - Análise desempenho – custo pela abordagem social.....	255
Tabela 8.7 - Análise desempenho – custo pela abordagem técnica.....	256
Tabela A1 - Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas	279
Tabela A2 - Lista de critérios seletivos	280
Tabela A3 - Vantagens e inconvenientes das medidas compensatórias	281
Tabela A4 - Características necessárias à inserção das técnicas compensatórias	283
Tabela B.1 - Vulnerabilidade das redes de fornecimento de eletricidade à interrupção das inundações	286
Tabela B.2 - Classes de fornecimento e níveis de segurança recomendados	286
Tabela B.3 - Características da vulnerabilidade das redes de abastecimento de água à interrupção...	287
Tabela B.4 - Características da vulnerabilidade das redes de saneamento à interrupção.....	287
Tabela B.5 - Características da vulnerabilidade das redes de telecomunicações	287

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Etapas metodológicas do desenvolvimento da tese	6
Figura 3.1 - Relação entre os componentes do risco	15
Figura 4.1 - Ciclo de tomada de decisão	58
Figura 5.1 - Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de abastecimento de água.....	110
Figura 5.2 - Fluxograma de funcionamento do procedimento de avaliação de danos ao sistema de esgotamento sanitário	112
Figura 5.3 - Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de esgotamento sanitário e drenagem urbana.....	116
Figura 5.4 - Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de distribuição de energia elétrica	117
Figura 5.5 - Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos	120
Figura 6.1 - Balança de Lane.....	131
Figura 6.2 - Hidrogramas real e sintético	150
Figura 6.4 - Análise executada para determinação do indicador I_{QA}	172
Figura 6.5 - Análise executada para determinação do indicador I_{VE}	173
Figura 6.6 - Ilustração da noção de distância ao ideal e ao anti-ideal	178
Figura 6.7 - Gráfico de Pareto	190
Figura 7.1 - Localização do município de Itajubá.....	192
Figura 7.2 - Vista do município de Itajubá encaixado em vale na Serra da Mantiqueira.....	192
Figura 7.3 - Município de Itajubá durante o evento de janeiro de 2000.....	194
Figura 7.4 - Município de Itajubá durante o evento de janeiro de 2000.....	194
Figura 7.5 - Seções topobatimétricas no trecho do rio Sapucaí em Itajubá.....	195
Figura 7.6 - Setores censitários de Itajubá.....	196
Figura 7.7 - Localização da zona comercial de Itajubá	196
Figura 7.8 - Esquema de funcionamento do sistema de reservatórios.....	199
Figura 7.9 - Demarcação das áreas de desapropriação do dique	202
Figura 7.10 - Esquema de funcionamento dos diques e canais laterais.....	203
Figura 7.11 - Perfil do escoamento para TR=50 anos no modelo HEC-RAS	206
Figura 7.12 - Seções de escoamento no modelo HEC-RAS para TR=50 anos	206
Figura 7.13 - Hidrogramas resultantes do modelo ABC6.....	207

Figura 7.14 - Modelo Numérico do Terreno para o município de Itajubá	208
Figura 7.15 - Mancha de inundação para período de retorno de 100 anos com a malha urbana.....	211
Figura 7.16 - Manchas de inundação para diferentes períodos de retorno cenário atual.....	212
Figura 7.17 - Manchas de inundação para diferentes períodos de retorno para a implantação dos diques	213
Figura 7.18 - Delimitação dos lotes vazios e áreas com espelho d'água permanente	214
Figura 7.19 - Manchas de inundação para a vazão de 24 horas de duração para o cenário atual.....	215
Figura 7.20 - Mancha de inundação para vazão de duração de 24 horas cenário com dique	216
Figura 7.21 - Intersecção entre mancha de inundação de 100 anos no cenário atual para vazão de 24 horas, vazios e declividade \leq a 1%.....	217
Figura 7.22 - Intervalos de profundidade de submersão para período de 100 anos cenário atual	218
Figura 7.23 - Intervalos de profundidade de submersão para período de retorno de 100 anos cenário atual comércio e serviços	219
Figura 8.1 - Porcentagem de alteração no desempenho dos cenários para cada aspecto tomando como base a média dos pesos.....	244
Figura 8.2 - Porcentagem relativa dos danos aos diferentes setores para os cenários	247
Figura 8.3 - Distribuição dos danos entre os sistemas de infraestrutura urbana em cada cenário.....	248
Figura 8.4 - Porcentagem de redução dos danos para os cenários em relação ao cenário atual para cada um dos setores avaliados	249
Tabela 8.5 - Comparação entre as reduções observadas nas manchas de inundação e nos danos à infraestrutura urbana para cada cenário.....	250
Figura 8.6 - Proporção dos danos a cada sistema da infraestrutura urbana em relação ao total dos danos diretos aos setores habitacional, comercial e de serviço	251
Figura 8.7 - Gráfico de Pareto para a média dos pesos	253
Figura 8.8 - Gráfico de Pareto para a abordagem ambientalista	255
Figura 8.9 - Gráfico de Pareto para a abordagem social	256
Figura 8.10 - Gráfico de Pareto para abordagem técnica	257
Figura C.1 - Curva DPS para residências classes A e B	300
Figura C.2 - Curva DPS para residência classe C	300
Figura C.3 - Curva DPS para residência classe D	301
Figura C.4 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 1 e 5	301
Figura C.5 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 4, 6 e 7	302
Figura C.6 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 2, 8 e 9	302
Figura C.7 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 10 e 15	303
Figura C.8 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categoria 11.....	303
Figura C.9 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categoria 12.....	304

Figura C.10 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 13 e 14	304
Figura C.11 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categoria 16.....	305
Figura C.12 - Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 17 e 18	305
Figura C.13 - Curva Dano x Profundidade para o setor de serviços, categoria 2.....	306
Figura C.14 - Curva Dano x Profundidade para o setor de serviços, categorias 3 e 7	306
Figura C.15 - Curva Dano x Profundidade para o setor de serviços, categorias 4, 5 e 6	307
Figura C.16 - Curva Dano x Profundidade para o setor de serviços categoria 10.....	307

LISTA DE ABREVIATURAS

ADSS	Adaptive Decision Support System
AHP	Analytical Hierarchy Process
AMD	Análise Multicritério Discreta
ANP	Analytic Network Process
ArcGIS	Grupo de programas que constitui um Sistema de Informação Geográfica produzido pela ESRI
AutoCAD Map	Programa para mapeamento produzido pela Autodesk
AVADAN	Avaliação de Danos
BL	Boca de lobo
BMP	Best Mannagement Practices
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CMB	Conjunto Motor-Bomba
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
COMDEC	Coordenadoria Municipal de Defesa Civil
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CRM	Conselho Regional de Medicina
CSD	Comissão de Desenvolvimento Sustentável
DMT	Distância média de transporte
DN	Diâmetro nominal
DPS	Danos por Profundidade de Submersão
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant Realité
EHR	Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GPS	Global Positioning System
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center-River Analysis System
HYMO	Hydrological Model Computer Language
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INCC	Índice Nacional de Custos da Construção
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IRC	Índice de Risco de Cheia
MDT	Modelo Digital do Terreno
MG	Minas Gerais
MNT	Modelo Numérico do Terreno
OCDE	Organization for Economic Co-operation and Development
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	Organização Pan Americana da Saúde
PAC	Pesquisa Anual do Comércio
PAD	Polietileno de Alta Densidade
PAS	Pesquisa Anual de Serviços
PIB	Produto Interno Bruto
PROMETHEE	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations

PV	Poço de visita
PVC	Cloreto de polivinila
SEQ	Systemes d'Évaluation de la Qualité
SEQ-BIO	Systemes d'Évaluation de la Qualité Biologique
SEQ-EAU	Systemes d'Évaluation de la Qualité de l'Eau
SEQ-PHY	Systemes d'Évaluation de la Qualité Physique
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SMART	Simple Multi Attribute Rating Technique
SPWRP	Southeastern Pennsylvania Waterways Restoration Program
SUDECAP	Superintendência de Desenvolvimento da Capital
SUS	Sistema Único de Saúde
SWMM	Storm Water Management Model
SWITCH	Sustainable Water management Improves Tomorrow's Cities' Health
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
USACE	U. S. Army Corps of Engineers
WSPRO	Water-Surface Profile Computation Model

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da bacia em km^2
A	Área de drenagem da estação
A_{Ci}	Valor da condição para cada elemento do curso d'água tomando como referência a situação de ocupação atual
a^M_j	Ponto de ideal para o critério j ;
a^m_j	Ponto de anti ideal para o critério j ;
a_{ij}	Ponto de coordenada da alternativa considerada para o critério j ;
A_{ZI}	Área da superfície inundada em cada setor censitário
C_n	Fluxo de caixa feito no período n ;
C_0	Fluxo de caixa feito na data zero;
$d^M_p(a_i)$	Distância de Minkovski ao ideal;
$d^m_p(a_i)$	Distância de Minkovski ao anti-ideal;
$D_p(a_i)$	Taxa de similaridade
D_{POP}	Densidade populacional prevista por unidade de área para cada setor censitário
g	aceleração da gravidade (m/s^2)
i	Taxa de juros corrente ao período n ;
I_{CS}	Indicador de contaminação da água de inundação por esgoto sanitário
Id_k	Índice de desempenho da alternativa k ;
I_{EJ}	Indicador de erosão ou sedimentação a jusante
I_{EL}	Indicador de criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos
I_{IJ}	Indicador de inundação a jusante
I_{MF}	Indicador de alteração na morfologia fluvial
I_{MF_N}	Indicador de morfologia fluvial normalizado
I_{PA}	Indicador de risco de poluição acidental
I_{PA_N}	Indicador de poluição acidental normalizado;
I_{PE}	Indicador de população afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades
I_{PE_N}	Indicador de população afetada e exposta a enfermidades normalizado;
I_{PO}	Indicador de população afetada pela inundação
I_{PV}	Indicador de proliferação de vetores alados
I_{PV_N}	Indicador de proliferação de vetores alados normalizado;
I_{QA}	Indicador de alteração potencial na qualidade da água
I_{RP}	Indicador de realocação da população
I_{RP_N}	Indicador de realocação da população normalizado
I_{VE}	Indicador de alteração potencial sobre o volume escoado e recarga de aquífero
j	Critério analisado
L	Unidade de medida de comprimento
$L.T^{-1}$	Unidade de medida de velocidade
$L^3.T^{-1}$	Unidade de medida de vazão
L^2	Unidade de medida de superfície
m_p	Distância de Minkovski entre os pontos x e y
n	Número do período em que foi feito determinado fluxo
N_A	Número de empreendimentos atingidos contidos dentro da mancha de inundação
N_E	Número total de empreendimentos na zona urbana

N_{EM}	Número total de empreendimentos na zona urbana inundável para a máxima cheia considerada na análise
N_p	Número de pluviógrafos
p	Valor que define o tipo de distância
Pop_{TOT}	População total da área urbana
Q_a	Vazão correspondente à situação de ocupação atual ($L^3.T^{-1}$)
Q_d	Vazão obtida após a implantação de cada cenário ($L^3.T^{-1}$)
$Q_{máx}$	Máximo anual de vazão média diária
Q_p	Vazão de pico
Q_R	Vazão de restrição para a manutenção das condições na área a jusante da área em estudo
S_{50}	Área da superfície inundada com altura de água de pelo menos 50 cm por tempo igual ou superior a 24 horas em cada setor censitário
S_b	Superfície ocupada pela área de estudo
S_d	Superfície de drenagem prevista para alimentar todas as bacias de retenção e retenção previstas para cada cenário
S_{MED}	Superfície utilizada pelas medidas de controle dentro de casa setor censitário
S_T	Somatório entre as superfícies de solo nu ou com vegetação rasteira com declividade igual ou inferior a 1% e área ocupada por bacias de retenção inserida dentro da mancha para uma inundação de duração superior a 1 dia
S_U	Área total da zona urbana
S_{UM}	Área total da zona urbana inundável para a máxima cheia considerada na análise
TM	Thematic Mapper
TR	Período de retorno
V_A	Volume de escoamento antes da aplicação das medidas ou o volume de escoamento do cenário de referência obtido por modelagem matemática
V_D	Volume de escoamento previsto após a implantação dos cenários com a medidas de controle obtido por modelagem matemática
w_j	Peso do critério j
x_j	Ponto de coordenada x para o critério j
y_j	Ponto de coordenada y para o critério j
Ω	Potência hidráulica por unidade de comprimento do rio
ρ	Densidade da água
S	Declividade
Φ	Potência unitária
u	Velocidade do fluxo

1.0 - INTRODUÇÃO

Das catástrofes naturais, as inundações são as que apresentam o maior volume de prejuízos. Segundo Berz (2000), somente na década de 90, mais de US\$250 bilhões foram gastos para compensar as conseqüências mundiais das inundações. No Brasil, as perdas econômicas por inundações estimadas por Baptista e Nascimento (1996) e Tucci *et al.* (2003) estão entre US\$ 1 bilhão e US\$ 2 bilhões por ano.

O intenso processo de urbanização experimentado no Brasil a partir da década de 60 mostra hoje, um resultado preocupante nas grandes cidades brasileiras. Mais de 80% da população vive em áreas urbanas trazendo consigo impactos gerados pela forma inadequada da ocupação urbana e pelo comportamento geral da população.

A combinação de falta de conhecimento por parte dos responsáveis pelos órgãos de planejamento da drenagem das águas pluviais urbanas, o despreparo dos profissionais pertencentes a esses órgãos em grande parte dos municípios, e a falta de vontade política na solução dos problemas agrava ainda mais a situação. O planejamento dos sistemas públicos (drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, transporte, abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e sistema viário), normalmente é feito de forma setorial, desconsiderando a interface existente entre os mesmos e potencializando alguns problemas localizados.

Um exemplo das conseqüências dessas ações está relatada no documento do Ministério da Saúde (2004) sobre as chuvas do verão de 2004, consideradas o maior desastre natural já registrado no Brasil, atingindo 1224 municípios. No período de 28 de janeiro a 22 de março foram registrados 211 vítimas fatais e 1387 feridos. O número de desabrigados e desalojados ultrapassou a cifra de 378 mil pessoas, com 113 mil residências, 1046 pontes e 1838 escolas danificadas ou destruídas. Das vinte Unidades da Federação atingidas pelas enchentes, nove apresentaram aumento de casos confirmados de leptospirose no período de 01 de janeiro a 17 de março de 2004. Nesse mesmo período, nas vinte unidades federadas foram registrados 52 óbitos em decorrência das inundações.

Essas constatações tornam cada vez mais evidente a necessidade de um planejamento que

incorpore tanto técnicas de controle quanto a eficiência de medidas de convivência, analisando além dos aspectos técnicos relacionados ao desempenho hidráulico de medidas para o controle de inundações, também as interfaces do problema relativas aos aspectos sociais, ambientais, de saúde pública e financeiros, juntamente com os aspectos hidrológicos e hidráulicos. Assim, o presente trabalho pretende preencher uma lacuna no planejamento urbano de áreas sujeitas a inundação, pela análise conjunta dos aspectos citados, sugerindo uma sistemática para ao auxílio à decisão e seleção de alternativas de controle baseadas nos diferentes impactos que estas podem produzir.

Quanto à sua utilidade no processo de planejamento municipal, espera-se a possibilidade de incorporação da ferramenta proposta na elaboração de planos diretores de desenvolvimento urbano e de planos diretores de drenagem urbana.

Para a composição da sistemática foi feita uma extensa revisão bibliográfica de modo a delimitar os campos de atuação e a definição das ferramentas a serem utilizadas na composição da mesma. Pelas suas características e possibilidades de tratar assuntos diferenciados e muitas vezes conflitantes, a ferramenta de auxílio à decisão proposta aqui utiliza indicadores de vulnerabilidade para avaliar o desempenho de alternativas de controle de inundações e indicadores de custos formados por custos de implantação, manutenção e operação juntamente com custos dos danos para esses eventos, dando ênfase aos danos à infraestrutura urbana.

Primeiramente, para delinear o estudo foi feita uma revisão bibliográfica e uma fundamentação teórica para definição dos métodos e técnicas indicados para a metodologia proposta. Esse processo se estendeu por praticamente todo o desenvolvimento da tese. A etapa de formulação dos indicadores, por exemplo, foi embasada em estudos já realizados e em conceitos formulados anteriormente quando do contato com especialistas de diferentes áreas.

A etapa de revisão bibliográfica consta atualmente de dois capítulos da tese. O primeiro deles (Capítulo 3) trata do estudo do contexto das inundações, os impactos por ela causados e as medidas de controle que podem ser adotadas, definindo os critérios para sua escolha em função das características locais e de aplicabilidade das mesmas. O segundo

capítulo de revisão bibliográfica (Capítulo 4) trata das metodologias disponíveis para a avaliação das alternativas, na tentativa de indicar métodos e técnicas mais adequados a cada situação em função dos objetivos formulados.

O Capítulo 5 da tese apresenta uma descrição dos danos à infraestrutura urbana, mencionados na literatura e apresenta a sistemática elaborada para avaliação desses danos baseado no levantamento efetuado em diferentes municípios do estado de Minas Gerais. A busca de elementos para a elaboração da sistemática de avaliação de danos apresentou uma característica marcante nessa etapa: a dificuldade em obter as informações necessárias para o seu desenvolvimento. Assim, o processo de coleta de dados teve duração de aproximadamente dois anos sendo alimentado paulatinamente de tal forma que a etapa de formulação da metodologia aconteceu simultaneamente com a fase final da coleta de dados. O processo de desenvolvimento da sistemática foi evoluindo à medida que eram obtidas novas informações.

O sexto capítulo da tese trata da sistemática utilizada para a análise de desempenho das alternativas de controle, aqui denominadas “cenários”, com a formulação dos indicadores de vulnerabilidade propostos e os métodos para agregação e apresentação da análise proposta. Na etapa de formulação dos indicadores foi preocupação presente em todo o processo, a identificação de mecanismos de fácil aplicação e informações disponíveis ou que pudessem ser construídas facilmente pelos órgãos de planejamento municipais. Os dados para sua determinação são advindos de diferentes meios: por manipulação de fotografias aéreas e dados digitais, dados do IBGE e documentos das prefeituras e institutos de pesquisa.

Uma vez que já havia sido definida previamente a área para aplicação do estudo de caso, em função dos estudos desenvolvidos por Vianna (2000), Lima (2003) e Machado (2005), o município de Itajubá fez parte da etapa de coleta de dados. Para esse levantamento, de modo a subsidiar o desenvolvimento da sistemática de avaliação de danos, foram elencados mais 4 (quatro) municípios do estado de Minas Gerais e a metodologia adotada para a coleta de informações sobre danos à infraestrutura foi: a realização de entrevistas com técnicos que estiveram presentes e trabalharam durante e após as inundações nos municípios visitados, e responsáveis pelas regionais dessas companhias; a visita e busca de

documentação junto aos órgãos de planejamento de prefeituras municipais, universidades e órgãos da Defesa Civil. A definição da área em função de estudos anteriores também foi fundamental para escolhas de alguns modelos matemáticos para a obtenção dos dados necessários para aplicação da sistemática proposta. A aplicação da sistemática encontra-se detalhada no Capítulo 7 desta tese e os resultados dessa aplicação encontram-se descritos no Capítulo 8, com as conclusões e recomendações listadas no último capítulo.

2.0 – OBJETIVOS E ETAPAS METODOLÓGICAS

2.1 – OBJETIVOS GERAIS

O presente estudo tem por objetivo geral o desenvolvimento de uma sistemática de auxílio à decisão para a seleção de alternativas para o controle de enchentes em ambientes urbanos, contemplando aspectos sociais, ambientais, de saúde pública, hidrológicos e financeiros. De forma complementar será desenvolvida uma sistemática para avaliação de danos diretos à infraestrutura urbana.

2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para a realização do objetivo geral foram definidos como objetivos específicos a serem alcançados ao final da tese:

- Identificar e propor os critérios essenciais em que se deverá basear o processo de tomada de decisão sobre a adoção de cenários alternativos para o controle de inundações urbanas;
- Analisar as diferentes medidas não-estruturais e estruturais de controle de inundações à luz de diferentes critérios;
- Desenvolver uma sistemática de avaliação de danos diretos decorrentes das inundações à infraestrutura urbana;
- Identificar e formular indicadores capazes avaliar os benefícios técnicos, ambientais e sociais de cenários compostos por medidas estruturais e não-estruturais de controle de enchentes urbanas;
- Identificar e formular indicadores capazes de traduzir as relações entre os custos dos danos e dos investimentos necessários para a implantação de alternativas de controle de enchentes urbanas;
- Estabelecer uma sistemática de auxílio à decisão para a seleção de cenários para o controle de inundações urbanas incorporando os indicadores supra citados;
- Avaliar a aplicabilidade da sistemática proposta em um estudo de caso.

2.3 – ETAPAS METODOLÓGICAS

Conforme apresentado no item 2.1, a proposta de metodologia definida para este estudo diz respeito às atividades necessárias ao desenvolvimento de uma sistemática de auxílio à decisão para a seleção de alternativas de controle de inundações a serem inseridas em áreas

urbanas. As etapas consideradas para alcançar os objetivos formulados encontram-se ilustradas no fluxograma da Figura 2.1.

De maneira geral, a aplicação da sistemática proposta passa por três grandes grupos de atividades que são as etapas de mapeamento e caracterização local, a definição das alternativas de arranjos e a análise do desempenho dos arranjos nos aspectos adotados, por meio de indicadores.

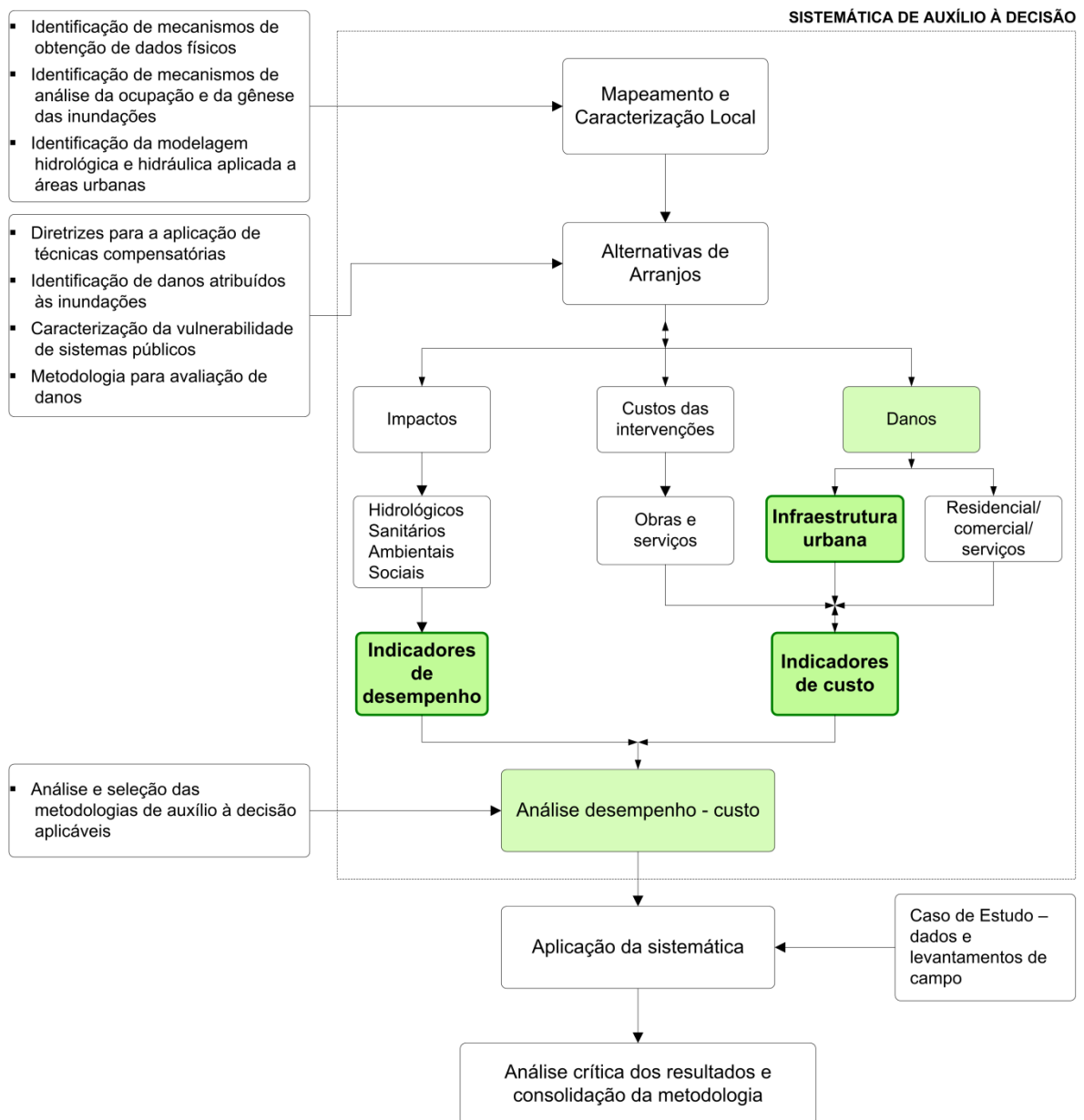


Figura 2.1 – Etapas metodológicas do desenvolvimento da tese

2.3.1 – Revisão bibliográfica e fundamentação teórica

A revisão de literatura se estendeu por todo o decorrer do trabalho. Dela dependeram várias definições, dentre elas a identificação, a aplicabilidade das medidas de controle de inundação, a definição de métodos e técnicas de tratamentos dos dados e grande parte dos indicadores formulados.

Os critérios adotados foram embasados nos estudos de autores que vivenciaram os problemas das inundações em países de diferentes níveis de desenvolvimento, permitindo, assim, o estabelecimento dos critérios e a alocação dos indicadores nestes critérios. Assim, foi iniciada a etapa de formulação dos indicadores e a definição das ferramentas e informações que seriam utilizadas na sua obtenção. Além disso, ainda nessa etapa do trabalho foram definidos os setores da infraestrutura urbana a serem avaliados e procedeu-se a identificação inicial dos danos a estes setores.

2.3.2 - Mapeamento e caracterização da área

Tendo sido definido antecipadamente o local para a aplicação da sistemática, o município de Itajubá situado no sul de Minas Gerais, a coleta de dados de caracterização do mesmo e para formulação da sistemática de avaliação de danos à infraestrutura urbana ocorreram simultaneamente.

Nessa etapa definiu-se o uso de fotografias aéreas para obtenção de informações sobre a ocupação da área, foram obtidos os dados digitais para execução das demais atividades de mapeamento e definidos os níveis de informação necessários para a aplicação da sistemática. A coleta de dados foi feita em diferentes locais do município de Itajubá: prefeitura, UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá) e COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais). Além destes órgãos foram necessárias informações do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), com o agravante que cada informação fornecida foi desenvolvida em um pacote computacional diferente e formatos diferenciados, fazendo com que fosse necessária compatibilização entre os dados para uso. Além destes, no Departamento de Engenharia Hidráulica (EHR) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) foram obtidos os arquivos de calibração do modelo hidráulico HEC-RAS para a região, em função de outros estudos já desenvolvidos para o local.

2.3.3 – Definição das alternativas de cenários

No período passado em Itajubá, pelo contato com profissionais e professores da UNIFEI, por documentos disponibilizados durante o processo de levantamento de dados e pelas características físicas locais, foram definidos os cenários de análise para a aplicação da sistemática.

Os cenários foram definidos de modo a conseguir a redução total ou parcial dos danos na área em estudo. No caso da redução parcial, foi priorizada a região com maior densidade de ocupação. Assim, as alternativas apresentadas e detalhadas no Capítulo 7 deste documento foram: a situação atual, a implantação de diques laterais e um canal evacuador, a implantação da barragem 3A definida pelo projeto de um sistema de contenção com quatro barramentos para solução dos problemas de inundações na bacia do rio Sapucaí, e por último, a implantação de um sistema de alerta.

A partir da definição dos cenários, do manuseio dos dados de mapeamento e caracterização e dos resultados da modelagem hidráulica, foi possível a obtenção das informações para o cálculo dos indicadores (manchas de inundação e demais níveis de detalhamento necessários para a aplicação dos indicadores de vulnerabilidade).

2.3.4 – Indicadores de vulnerabilidade para análise do desempenho dos cenários

Na verdade, as etapas de coleta e tratamento de dados para a alimentação da sistemática de avaliação do desempenho dos cenários foi feita de maneira direcionada, uma vez que os indicadores de vulnerabilidade que fazem parte da análise já se encontravam formulados. Os dados para alimentação da sistemática são os resultantes da modelagem hidráulica com o HEC-RAS, dos programas ArcGIS e AutoCAD, formatados para a aplicação prevista nos dez indicadores formulados. Esses resultados foram obtidos para cada período de retorno utilizado na análise, aplicados a cada uma das alternativas de controle definidas.

2.3.5 – Indicadores de custo

A determinação dos indicadores de custo foi feita pela consideração, após a definição dos cenários, dos custos de implantação dos mesmos, e dos custos dos danos em cada uma das situações previstas.

Para os custos das intervenções foi feito o levantamento dos custos de implantação, manutenção e operação de cada uma das alternativas de controle definidas. Estes custos foram fixos para cada proposta de intervenção em todos os cenários analisados.

A obtenção dos custos dos danos foi feita mediante a previsão da inundação em cada cenário e período de retorno. Para a obtenção dos custos dos danos às habitações, comércio e serviços foi utilizada a metodologia obtida por Machado (2005).

Já para os custos dos danos à infraestrutura urbana foi desenvolvida uma sistemática de avaliação de danos diretos decorrentes de inundações, que contemplou seis setores de serviços urbanos: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, vias urbanas, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, limpeza pública e manejo de resíduos sólidos, e distribuição de energia elétrica. Essa sistemática permitiu a estimativa dos danos a esses setores em função das características observadas para cada sistema e dos parâmetros das inundações.

2.3.6 – Análise desempenho-custo

A análise desempenho-custo foi feita após a agregação dos indicadores de vulnerabilidade por um método multicritério em um “Índice de Desempenho” e da obtenção de um “Índice de Custo” resumindo todos os custos envolvidos na análise. Os resultados foram apresentados para todas as situações avaliadas a partir do conceito de “ação ideal” e “ação anti-ideal” no gráfico de Pareto permitindo, assim, a visualização do desempenho geral das alternativas para a escolha daquelas julgadas adaptadas para a solução ou minimização dos impactos das inundações no município de Itajubá.

3.0 – INUNDAÇÕES URBANAS

As inundações em áreas urbanas são reflexos da combinação de eventos hidrológicos em áreas ocupadas sem critério com deficiências do planejamento da ocupação do espaço urbano.

A grande concentração da população em áreas urbanas é um fenômeno agravante das inundações. Na América Latina, o Brasil com mais de 80% da população vivendo nas cidades, a Argentina (Bertoni *et al.*, 2003) com população urbana acima de 89%, Bolívia (Terrazas e Seleme, 2003) com 62% de população urbana, Paraguai (Domecq *et al.*, 2003) com 53,7% de população urbana em 1998, Peru (Reyes, 2003) com 68% de população urbana e Uruguai (Genta e Teixeira, 2003) com 90% da população urbana, sofrem com as inundações. Nestes países, destacam-se, ainda, os efeitos da ocupação de áreas ribeirinhas a rios e arroios.

No Brasil, obras mal projetadas diminuem a seção de escoamento de rios, obstruem o escoamento pela locação de pilares de pontes em locais inadequados, sedimentos ficam depositados no fundo dos rios e córregos e toda sorte de materiais (resíduos de construção, móveis e eletrodomésticos e até veículos) são encontrados obstruindo o escoamento e potencializando o problema.

As conseqüências dessas atividades são a ocorrência, cada vez mais freqüente de transbordamentos dos cursos d'água, e empoçamentos distribuídos ao longo de toda a bacia. Os resultados vão desde a ocorrência de pequenas perdas materiais, interrupção no tráfego, até a perda de vidas humanas.

3.1 – TIPOS DE INUNDAÇÕES

As cheias são elevações do nível da água, não representando, necessariamente, uma inundação. Para constituir uma enchente ou inundação, uma cheia deve estar associada a uma ocupação vulnerável.

As enchentes ou inundações são diferenciadas de acordo com as razões para sua ocorrência, assim como pelas características dos locais em que elas acontecem. Esses eventos podem ocorrer de forma localizada ou atingir grandes áreas de acordo com as

características locais. Garry *et al.* (1999) e Dégardin e Gaide (1999) descrevem os tipos de inundações conforme o exposto a seguir.

3.1.1 – Inundações lentas ou inundações fluviais

As inundações lentas ocorrem quando há a elevação lenta das águas de cheias ocasionadas por chuvas prolongadas em locais de relevo plano. Elas aparecem algumas dezenas de horas após a chuva e se propagam lentamente em direção a jusante de grandes bacias hidrográficas (bacias com várias centenas de quilômetros quadrados). Essas inundações são características de regiões planas e devido ao grande intervalo de tempo entre a precipitação e a cheia, é possível prever a inundação, principalmente se houver instalado um sistema de alerta, possibilitando assim, a eventual desocupação da área. São inundações que podem representar uma ameaça à população ribeirinha, chegando a fazer vítimas pelas suas características. Esses eventos podem se prolongar por dias ou por semanas, ocasionando danos aos bens móveis, distúrbios às atividades locais, custos indiretos a longo prazo e prejuízos psicológicos graves.

3.1.2 – Inundações rápidas ou inundações por cheias torrenciais

Esse tipo de inundação corresponde às cheias nas quais o tempo de concentração das águas é, normalmente, inferior a 12 horas. Elas se formam em bacias hidrográficas acidentadas, mas também em planaltos. A rapidez com que ocorrem essas cheias impede, de maneira geral, a eficiência de sistemas de alerta para evacuação da população ameaçada. A altura de submersão, a velocidade do escoamento e a razão de subida das águas da ordem de centímetros por hora, e o transporte de materiais que tornam as ondas de cheia mais destrutivas, representam fatores agravantes desse tipo de inundação, elevando os riscos e perigos à vida das pessoas juntamente com seus bens.

3.1.3 – Inundações por escoamento urbano

Esse tipo de inundação ocorre quando a rede de drenagem não é suficiente para evacuar as águas pluviais. As inundações por escoamento urbano são consequência da grande concentração de obras e da impermeabilização do solo em meio urbano, que causam: o aumento do volume e da velocidade do escoamento na superfície; a introdução de redes de condutos enterrados e cobertos para a condução das águas pluviais geradas na superfície; e a capacidade limitada dessas redes em conduzir os volumes gerados pelo escoamento. Essas inundações ocorrem, geralmente, em bacias hidrográficas de pequena área (menos de

10km²) e cujos eixos drenantes são muito curtos (menos de 5km). Os tempos de propagação das cheias são reduzidos e os transbordamentos ocorrem muito rapidamente. A possibilidade de ultrapassar a capacidade de escoamento da rede e obstruções à entrada da água nos dispositivos de coleta são fatores agravantes desse tipo de inundação. O curto intervalo de tempo em que ocorrem esses eventos impossibilita a adoção de um sistema eficaz de advertência da população.

3.1.4 – Inundações pelas torrentes

As torrentes são cursos d'água de declividade forte (superior a 6%) apresentando vazões irregulares e alto volume de escoamento. Esses cursos d'água são geradores de grandes riscos de inundações acompanhados de erosão e acumulação maciça de materiais.

3.1.5 – Submersões marinhas

Esse tipo de inundação ocorre na zona costeira, pelo mar, em condições meteorológicas e maregráficas severas. Elas afetam, em geral, as regiões situadas abaixo do nível do mar, mas também, às vezes, a região acima deste, quando do enfraquecimento de obras de proteção. Esse tipo de inundação ocorre devido: à ruptura ou a destruição de barreiras de dunas seguida de erosão; ao transbordamento ou à ruptura de diques ou obras de proteção; e a fendas de maior amplitude provocada por deslizamentos submarinos (Les Saintes-Maries-de-la-Mer, 1985 *apud* Garry *et al.*, 1999).

3.1.6 – Inundações estuarinas

Esse tipo de inundação ocorre quando há a conjunção de uma cheia fluvial com a elevação excepcional do nível do mar de modo a bloquear ou reduzir o ritmo de evacuação da cheia. As variações de nível desse tipo de inundação seguem as modificações dos níveis impostos pela maré e pelas cheias fluviais.

3.1.7 – Inundações por remanso da rede de drenagem pluvial

Os alagamentos intensos de uma zona urbana podem ser absorvidos pela rede de drenagem local, mas, a jusante, o volume escoado pode ultrapassar a capacidade de escoamento desses condutos, de modo que os mesmos expulsam o volume excedente pelos orifícios existentes no subsolo e na superfície, ou ainda por vasos sanitários e demais componentes da rede de esgotamento sanitário.

3.1.8 – Inundações por elevação do nível do lençol freático

A elevação do nível do lençol pode ocorrer de forma natural ou artificial. De maneira natural, o lençol freático eleva seu nível quando há a ocorrência de chuvas abundantes e prolongadas de modo a recarregar o lençol freático até que o mesmo surja na superfície em virtude da lentidão do escoamento no subsolo. Essas inundações apresentam pequeno risco às pessoas, no entanto, podem ocorrer danos consideráveis às vias e às construções. De maneira artificial, a elevação do lençol freático pode ocorrer quando há a parada do bombeamento do lençol para o rebaixamento do mesmo, permitindo que este se eleve, com o risco de atingir a superfície. As conseqüências, neste último caso, são semelhantes às do caso anterior.

3.2 – IMPACTOS DAS INUNDAÇÕES

As comunidades atingidas por eventos de inundação estão sujeitas a impactos de diferentes intensidades, dependendo da magnitude dos mesmos. Os impactos de menor intensidade estão relacionados a pequenos eventos e incluem, principalmente, problemas de saúde. Os de intensidade moderada possuem uma freqüência menor, mas atingem maiores áreas, podendo haver interrupção temporária dos sistemas de transporte e das atividades urbanas. Os impactos de maior intensidade causam maiores danos resultando em grandes impactos na economia urbana.

Dentre os perigos aos quais a população que ocupa as planícies de inundação está sujeita, Lima-Queiroz *et al.* (2003) enumeram os seguintes:

- Perdas de vidas humanas;
- Degradação de condições de saúde coletiva;
- Perdas materiais diretas decorrentes da ação física, química e biológica das águas e da deposição de sedimentos;
- Perdas indiretas, resultantes de interrupção ou perturbação de serviços (transportes, comunicações, abastecimento de água e sistemas de esgoto, etc.);
- Ruptura do processo produtivo, o qual pode afetar o bem-estar econômico de uma comunidade e, possivelmente, as economias regionais e nacionais.

Os impactos na saúde correspondem àqueles relacionados com a proliferação de vetores

causadores de doenças e a transmissão de outras moléstias de veiculação hídrica. Os impactos estruturais dizem respeito às deficiências dos sistemas de drenagem que podem ocasionar danos às edificações e afetar o sistema de transporte. Impactos ambientais são causados quando o escoamento superficial torna-se potencial fonte de poluição difusa e carrega inúmeros agentes poluidores, e os impactos econômicos surgem em decorrência da combinação dos três impactos anteriores, refletindo em custos públicos e privados (Parkinson, 2004).

Normalmente, quem mais sofre com a incidência de inundações é a população que habita as regiões mais baixas, os terrenos íngrimes e as beiras de rios e córregos. A frequência com que essas áreas são inundadas acaba por trazer muitos danos e perigos à população. A população situada dentro da mancha de inundação é a que mais sofre, mas no tocante às doenças, o bairro com alto atendimento de drenagem e outros serviços públicos tal como a coleta de lixo, também sofre com as falhas desse serviço. A proliferação de doenças tais como a dengue, disseminadas por vetores alados, também atinge a população que habita fora da mancha de inundação.

Segundo Aranha (1981) *apud* Salgado (1995), os prejuízos das inundações são afetados por uma série de fatores, muitas vezes dificultando uma avaliação mais precisa. Dentre esses fatores podem ser citadas as características de cada região tais como a conformação topográfica, a ocupação do solo, o regime hidrológico, constituindo um grande número de informações a serem levantadas o que pode vir a elevar sobremaneira os custos de pesquisa de campo.

3.2.1 – Risco de inundação

Inundações não são constituídas, somente, de processos físicos, naturais, que levam ao transbordamento de um corpo d'água, mas também, à exposição de pessoas e de bens na planície de inundação. Entende-se por desastre a ocorrência natural ou processo induzido de eventos com potencial para geração de prejuízos imediatos e perigos futuros. O risco, por sua vez, pode ser definido como sendo a probabilidade ou possibilidade de ocorrência desses eventos, fatos ou resultados indesejáveis (Smith, 2000 e Vieira, 2005).

No processo de tomada de decisão, no que diz respeito à busca de soluções para o problema das inundações urbanas, a questão do risco de inundação deve ser abordada

quando da necessidade de escolha entre as possíveis alternativas de solução que atendam aos objetivos de um projeto e no grau de proteção determinado pela política na qual se insere esse projeto. Há casos em que limitações financeiras, políticas e sociais determinam a mudança temporária ou definitiva nos objetivos de proteção do projeto, de modo a atender a realidade presente. Assim, a avaliação do risco pode sugerir a não adoção de solução técnica, mas a convivência com a situação e o preparo para a mesma (Plate, 2002).

Um gerenciamento eficiente do risco de inundação deve levar em conta os riscos naturais que por sua vez devem estar incorporados aos códigos urbanísticos dos municípios, privilegiando medidas de valorização das zonas inundáveis no ambiente urbano, podendo adotar uma abordagem múltipla e garantindo, dessa forma, a segurança da população e das atividades inseridas na região ribeirinha (Dégardin e Gaide, 1999).

Na análise do risco de inundação dois elementos aparecem de maneira bastante clara conforme apresentado na Figura 3.1: a aleatoriedade e as conseqüências. A aleatoriedade está diretamente ligada ao reflexo físico ou impacto de um evento aleatório, no caso em questão, a ocorrência de uma inundação proveniente de uma cheia. As conseqüências relacionam a vulnerabilidade, representada pelas características de ocupação que potencializam os danos, e a exposição diz respeito à localização e quantidade de elementos com potencial para serem danificados.

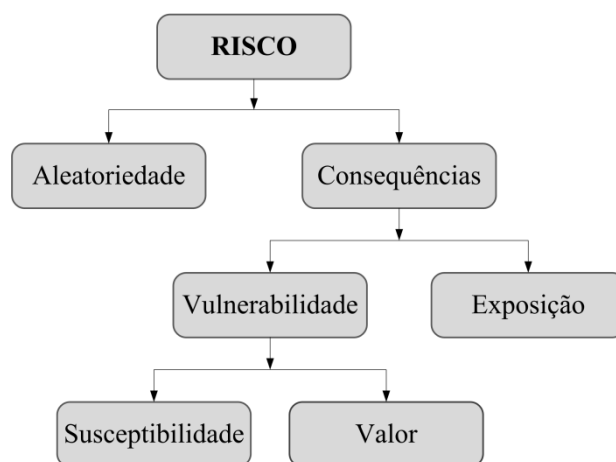


Figura 3.1 – Relação entre os componentes do risco (Adaptado de Zonensein, 2007)

A princípio, a aleatoriedade está relacionada ao caráter não determinístico de algo podendo ser definida como a probabilidade de ocorrência de um fenômeno natural. Algumas das

alternativas de expressão da aleatoriedade são feitas por aquelas que caracterizam um evento de inundação: o período de retorno e a duração da inundação, a profundidade da água tolerável e a velocidade do escoamento, de modo que haja parâmetros de comparação a partir da mesma escala de medida (Agences de L'Eau, 1998).

A análise da aleatoriedade deve levar a um conhecimento objetivo, permitindo a sua quantificação e repartição espacial, utilizando-se de modelagem hidrológica e hidráulica de para determinar os parâmetros característicos da inundação (duração, velocidade e altura) (Agences de L'Eau, 1998).

De acordo com Garry *et al.* (1999), a aleatoriedade de referência pode ser expressa como o período de retorno escolhido para determinação da inundação de referência em decorrência dos objetivos da análise. De uma maneira geral, os níveis de aleatoriedade de referência são determinados em função dos parâmetros físicos da inundação e dos danos a ela atribuídos.

A Tabela 3.1 apresenta os níveis de aleatoriedade em função da altura de submersão tomando, a princípio, uma altura de submersão de 1 (um) metro como referência. Essa altura foi definida por ser tomada como altura limite em que a mobilidade de um adulto é fortemente reduzida e a mobilidade de uma criança é impossível. Para essa mesma altura de submersão há ocorrência do levantamento e deslocamento de veículos constituindo danos aos mesmos e o bloqueio de vias, e ainda, em função dos serviços de atendimento às emergências, há perda de mobilidade e dificuldades no atendimento. Mas deve-se considerar que dependendo das condições, alturas de lâmina de água bastante inferiores já reduzem drasticamente a mobilidade de uma pessoa, ficando, assim, a determinação da aleatoriedade mais crítica, relativa às condições locais existentes.

Tabela 3.1 - Qualificação da aleatoriedade em função da altura de submersão (Garry *et al.*, 1999)

Altura	Aleatoriedade
$H < 1$ m	Média ou fraca
$H \geq 1$ m	Forte

Segundo esses autores, em zonas de escoamento rápido, pode-se considerar, ainda, uma aleatoriedade mais forte para uma altura de submersão de 0,50m ou mesmo menor. Dessa

forma, a análise da aleatoriedade em função da altura de submersão e da velocidade do escoamento, foi considerada como mostrado na Tabela 3.2.

Mesmo sem se considerar a aleatoriedade, durações muito longas (superiores a 48 horas), ou particularidades de áreas isoladas, elevadas natural ou artificialmente, e o distanciamento de áreas fora da área atingida, são informações que devem ser consideradas para redução dos riscos.

Garry *et al.* (1999) colocam que nos casos em que há falha na medida de controle adotada ou quando é ultrapassado o limite de proteção da obra, os danos podem ser superiores àqueles onde não há proteção alguma. O limite de altura de submersão em determinados locais deve ser visto com prudência, uma vez que a velocidade do escoamento pode aumentar os danos e modificar as relações físicas que regem os princípios da aleatoriedade. A Tabela 3.2 apresenta as sugestões de Scarwell e Laganier (2004) para classificação da aleatoriedade associando a altura de submersão, a duração da inundação e a velocidade de escoamento.

Tabela 3.2 - Qualificação da aleatoriedade em função da altura de submersão e da velocidade do escoamento (Scarwell e Laganier, 2004)

Altura \ Duração	< 0,5m	$0,5m \leq h \leq 1,0m$	$1m < h \leq 1,5m$	> 1,5m
< 48 horas	Fraca	Fraca se $v < 1,5m/s$ Média se $v > 1,5m/s$	Média	Forte
de 2 a 8 dias	Fraca	Média	Média se $v < 0,5m/s$ Forte se $v > 0,5m/s$	Forte se $v < 1,5m/s$ Muito forte se $v > 1,25m/s$
de 8 a 15 dias	Fraca se $v < 1,5m/s$ Média se $v > 1,5m/s$	Média	Forte	Muito forte
> 15 dias	Média	Média se $v < 0,5m/s$ Forte se $v > 0,5m/s$	Forte se $v < 1,5m/s$ Muito forte se $v > 1,25m/s$	Muito forte

A vulnerabilidade pode ser caracterizada pelas conseqüências diretas ou indiretas, advindas ou esperadas para a população em decorrência das inundações. Ela se baseia em critérios sócio-econômicos da ocupação do solo na área inundada na tentativa de compreender a que ponto a ocorrência de um evento pode afetar a dinâmica do desenvolvimento de uma sociedade (Grelot, 2004)

A análise da vulnerabilidade deve levar em conta a diversidade de ocupação do solo, e

deve tomar uma escala de medida comum a fim de permitir classificar as características dos diferentes tipos de ocupação de modo a atribuir a cada elemento de parcela, um valor representativo da vulnerabilidade. Esse valor deve incorporar não apenas os valores econômicos, mas também e tão importante quanto, os valores sociológicos.

A análise da diversidade deve permitir determinar um risco máximo aceitável, que traduzirá o objetivo da proteção que se quer atribuir a uma determinada área. O objetivo de proteção será uma variável que expressará as necessidades dos indivíduos, as especificidades locais e a percepção da população frente ao risco de inundação (Agences de L'Eau, 1998).

3.2.2 – Abordagens utilizadas na determinação das áreas de risco de inundação

Uma forma de determinar as áreas propensas a sofrerem por ocasião das inundações, é estabelecendo um mapa de risco. Pesquisas recentes abordam a questão do risco essencialmente sobre a determinação da aleatoriedade: estimativa das vazões de cheia para dadas frequências, a elaboração de mapas de zonas inundáveis e a definição da altura de submersão. Normalmente, os riscos de perdas econômicas e humanas são descartados dessa análise assim como acontece com os meios de prevenção da cheia.

Uma abordagem simplificada de obtenção do risco de inundação é feita a partir do exame da rede hidrográfica, ocupação do solo e outras características físicas da região. O levantamento desses dados fornecerá uma avaliação preliminar para a implantação do ordenamento do uso do solo locais. Essas informações podem ser complementadas por meio de questionários aplicados junto à população como intuito de recolher informações mais concretas a respeito da ocorrência de inundações passadas, e sobre as atividades relacionadas à prática de prevenção do risco adotada pela população. Apesar da simplicidade apresentada pelo levantamento aplicado a essa avaliação, é recomendado que o mesmo seja executado por especialistas, que estejam atentos a detalhes importantes da avaliação, e que tenham espírito crítico e capacidade de síntese, requisitos estes adquiridos pela experiência.

As informações relativas às inundações históricas são, em geral, reduzidas ou requerem um alto grau de cautela no seu tratamento. Em caso de inexistência de dados de inundações passadas, a única informação a ser utilizável é a análise hidrogeomorfológica da área. Essa

análise se apóia na análise das formas do relevo e características do curso d'água para determinar as áreas inundáveis para as grandes inundações e as zonas submersíveis pelas inundações mais frequentes.

A exploração direta de inundações históricas consiste em pesquisar, em arquivos, a descrição das inundações mais fortes observadas e os seus respectivos danos, registrar os mesmos com descrição dos locais e da memória da época. Posteriormente são estimadas as áreas atingidas e os danos resultantes na situação atual.

A utilização de dados coletados (imagens de sensores remotos, cartografia) tanto durante quanto após a passagem da cheia, fornecem informações indispensáveis sobre as cotas atingidas e sobre os mecanismos de escoamento em períodos de inundação.

Para a análise relativa à ocorrência de uma cheia rara, privilegia-se os registros de cheia. Se as inundações recentes não correspondem a cheias raras, recorre-se à análise histórica ou ao método hidrogeomorfológico, sendo este somente utilizado quando não há uma inundação conhecida (Dégardin e Gaide, 1999 e Garry *et al.*, 1999).

3.3 - DANOS DECORRENTES DAS INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS

Perdas por inundação são caracterizadas como a ocorrência simultânea de abundância de água inundando áreas além do leito dos rios e a ocorrência de danos potenciais na área inundada (Kundzewicz e Xia Jun, 2004). A avaliação dessas perdas é de fundamental importância no processo de gerenciamento de recursos financeiros, normalmente limitados, destinados ao controle de inundações.

Os danos decorrentes das inundações não se limitam aos prejuízos materiais quantificáveis, alguns deles são de difícil mensuração. Dutta *et al.* (2001) e König *et al.* (2002) classificam os danos decorrentes das inundações como *tangíveis* e *não tangíveis* ou *intangíveis*. Danos tangíveis são aqueles que podem ser avaliados quantitativamente em termos econômicos, tais como danos às edificações. Danos intangíveis são aqueles que são difíceis de serem expressos em valores econômicos, tais como a inquietude, incômodos e transtornos às atividades sociais.

Tanto os danos tangíveis quanto os intangíveis podem, ainda, ser classificados em *danos*

diretos e indiretos. Danos diretos são aqueles que atingem bens materiais, danos imediatos causados por erosão e poluição. Os danos indiretos não incluem danos materiais, não são contínuos, mas duram durante as inundações e um período após as mesmas. Os referidos autores indicam, ainda, a ocorrência de conseqüências sociais, que são efeitos de longo prazo negativos causados pela freqüência e severidade das inundações como danos indiretos. Inundações freqüentes ocasionam desenvolvimento regional restrito, a redução do desenvolvimento econômico, afetam o bem estar da população e a redução dos valores das propriedades na área afetada.

Na categoria de danos diretos estão inseridos os danos às propriedades públicas e privadas e ao seu conteúdo pela perda ou desgaste dos mesmos pela ação física (pressão, empuxo), química e biológica das águas e pela deposição de sedimentos. Os custos de serviços emergenciais para as atividades de evacuação salvamento e limpeza, os prejuízos decorrentes dos danos à infraestrutura urbana, o custo do congestionamento do trânsito urbano e aos veículos e os prejuízos à saúde estão incluídos nessa categoria de danos (Machado, 2005).

Os danos tangíveis podem, ainda, ser classificados como *danos atuais* e *danos potenciais*. Os danos atuais são aqueles provenientes de uma cheia atual. Os danos potenciais são os máximos danos que podem ocorrer, assumindo que nenhuma ação é tomada para reduzir os danos à população afetada durante um evento de inundação. A conversão dos danos potenciais para danos atuais é feita por meio de fatores de redução de danos em função do tempo de antecedência do alerta e da consciência e prontidão da população afetada (New South Wales Government, 2005).

A avaliação de danos de inundação pode ser feita por método direto seguindo duas abordagens. A primeira delas utiliza dados históricos, cuja obtenção seja baseada na identificação e diagnóstico de prejuízos relacionado a um evento de inundação ocorrido e consiste na obtenção direta da relação de altura de inundação versus prejuízo total (Grig e Helweg, 1975 *apud* Machado 2005 e Handmer, 1986 *apud* Salgado, 1995).

A segunda abordagem introduz o conceito das curvas de danos em função da profundidade de submersão (curvas DPS). As curvas DPS podem ser construídas a partir da síntese de

dados de danos reais de chuvas passadas, ou a partir da estimativa de danos hipotéticos baseados nos padrões de uso e ocupação do solo, tipo de objetos e informações coletadas por meio de questionários para obtenção de ocupações típicas de classes sociais (Dutta *et al.*, 2003). NZIR (2004) recomenda a construção de curvas DPS para os danos a residências pela facilidade de categorização dos dados para essa ocupação.

Segundo Tucci (1997), a determinação das curvas com base em dados históricos apresenta algumas limitações para sua utilização, pois a mesma admite que o crescimento da região com o passar dos anos tenha sido praticamente nulo, que os prejuízos com inundações tenham sido repostos, que os valores dos prejuízos sejam uniformizados (consideram a inflação do período) e que o procedimento de avaliação dos prejuízos seja o mesmo nas diferentes enchentes para que não ocorra tendenciosidade de avaliação. Já a abordagem sintética (DPS), apresenta como vantagens a estimativa dos prejuízos para qualquer cheia, em qualquer bacia em bases padronizadas e a avaliação consistente dos prejuízos, com isso permitindo a execução de análises de sensibilidade com facilidade e rapidez. Dentre as desvantagens, estão as dificuldades na determinação do prejuízo atual a partir das perdas potenciais estimadas e a padronização da metodologia que pode não ser adequada para todas as condições.

Segundo Salgado (1995), as curvas DPS consistem na apresentação do valor monetário do prejuízo associado a cada altura de inundação, para cada tipo de unidade econômica, separadamente para edificação, conteúdo e estoque (inventário), sendo a metodologia mais utilizada para a determinação de danos às propriedades. Essas curvas com a utilização de dados reais foram desenvolvidas no seguintes estudos:

- Torterotot (1993), com dados de oito cidades da França;
- Dutta *et al.* (2001) e Dutta *et al.* (2003) para a bacia hidrográfica do rio Ichinomiya, Japão;
- Lima (2003) para o município de Itajubá, Brasil;
- Aitken (1974) *apud* Machado (2005), para a Austrália;
- Cur e Taw (1990) *apud* Machado (2005), para a Holanda;
- Machado (2005) para os setores de comércio e serviços no município de Itajubá, Brasil.

A utilização de dados sintéticos na obtenção das curvas DPS foi objeto dos trabalhos de:

- Salgado (1995) no município de São João de Meriti, Brasil;

- Penning-RowSELL e Chatterton (1977) na Inglaterra;
- Machado (2005) para os danos às propriedades residenciais em Itajubá, Brasil;
- Crippen *et al.* (1972) e McBean *et al.* (1988), *apud* Machado (2005), no Canadá.

No estudo apresentado por Penning-RowSELL e Chatterton (1977) foram desenvolvidas curvas altura de inundação x prejuízo para 21 categorias básicas de propriedades residenciais na Inglaterra, subdividindo-as por classe social dos ocupantes, idade da propriedade e duração da cheia, num total de 80 curvas diferentes.

No estudo apresentado por Machado (2005) foram desenvolvidas curvas contemplando as relações características de residências com padrões de ocupação distintos, e diferentes categorias de comércio e serviços. As curvas obtidas no estudo representam a síntese das informações sobre os prejuízos potenciais causados por inundações no contexto brasileiro e foram aplicadas ao município de Itajubá. Para a obtenção dessas curvas foram utilizados dados sintéticos para a avaliação de danos às residências e seu conteúdo, e dados reais para a avaliação de danos aos setores de comércio e serviços.

No estudo de Dutta *et al.* (2001), constam as metodologias aplicadas no Japão, Reino Unido, Estados Unidos e Austrália, que serão descritas a seguir.

O Japão, por meio do Ministério da Construção (MOC), efetua-se uma estimativa econômica das perdas para cada cheia seguindo o procedimento descrito em “*Outline of River Improvement Economic Research Investigation*” (MOC, 1996 *apud* Dutta *et al.*, 2001). Esse documento relata que para a estimativa de danos, tanto pode ser executada a vistoria direta específica para uma cheia particular, quanto também pode ser utilizada a estatística de dados prévios de profundidade-dano para categorias específicas de propriedades, bem como fórmulas empíricas baseadas em dados de danos de inundações passadas. Esta metodologia somente é utilizada para a obtenção de danos primários diretos. Os danos primários indiretos são estimados nas estatísticas dos danos primários diretos. Para o Japão foram estimados os danos gerais a bens (edifícios residenciais e não residenciais), danos a colheitas e danos à infraestrutura pública (danos a rios, rodovias, pontes, transporte, telecomunicações, suprimento de energia elétrica). As perdas em negócios são estimadas em 6% do total dos danos a bens.

No Reino Unido, *Middlesex Polytechnic Flood Hazard Research Center* (MOFHRC) desenvolveu uma metodologia de estimativa de danos de inundações baseadas em três manuais:

- Blue Manual (Penning-Rowssel e Chatterton, 1977) - apresenta técnicas de avaliação de danos e uma série de dados de profundidade-dano para um grande número de edifícios urbanos e seus conteúdos;
- Red Manual (Parker *et al.*, 1987) – apresenta dados de profundidade-dano e métodos de avaliação para os tipos mais comuns de perdas indiretas incluindo os danos associados com manufatura, varejo, tráfego em rodovias, utilidades e serviços domésticos e de emergência; e
- Yellow Manual (Penning-Rowssel, 1992 *apud* Dutta *et al.*, 2001) – este manual expandiu os anteriores tratando da avaliação dos custos com a prevenção da erosão e avaliação dos efeitos sobre o meio ambiente.

Nos Estados Unidos, o U. S. Army Corps of Engineers (USACE) produziu em 1988 *National Guidelines Development Procedures Manual* no qual a metodologia adotada é muito ampla para a estimativa de danos a edifícios urbanos e para a agricultura. No entanto, não foram desenvolvidos métodos específicos para a estimativa de danos indiretos tais como perdas por interrupção de serviços.

Na Austrália, apesar das tentativas, não há, segundo os autores, uma metodologia padrão para a avaliação de danos decorrentes das inundações.

Na seqüência será feito o levantamento dos danos e os métodos para sua avaliação tomando como referência os estudos desenvolvidos por Penning-Rowsell e Chatterton (1977) e Parker *et al.* (1987) feitos para o Reino Unido e complementados por trabalhos de outros autores.

3.3.1 - Danos às residências

Os componentes da inundação que mais afetam a vulnerabilidade dos elementos de uma edificação são, principalmente, a profundidade e a duração da submersão, e a velocidade do escoamento. A susceptibilidade aos danos de inundações pelas propriedades residenciais pode ser dividida em dois grupos: componentes da edificação propriamente dita e ao seu conteúdo.

A tipologia do evento de inundação, cuja qualificação determinará a duração da mesma, a tipologia do habitat local (a presença ou não de subsolo na edificação) e a possibilidade de remanejamento do mobiliário e demais bens na residência são fatores que interferem diretamente nos danos às residências. Além destes, são fatores que interferem diretamente na intensidade dos danos, a qualidade do material empregado na obra e o processo construtivo utilizado (Torterotot, 1993).

Os danos aos componentes da edificação correspondem aos danos à alvenaria incluindo elementos de decoração, instalações elétricas, hidráulicas, telefônicas e de gás, portões, cercas e paisagens. Os danos ao conteúdo incluem equipamentos elétricos, eletrônicos e de aquecimento, móveis, roupas, livros e ornamentos.

Martin (1974) *apud* Penning-RowSELL e Chatterton (1977) classifica os danos esperados segundo a inundação como sendo:

- Danos imediatos: equivalem aos danos superficiais ao conteúdo resultante da imersão e da velocidade da água durante a inundação;
- Danos conseqüentes: equivale aos danos devido à umidade remanescente na estrutura da obra;
- Deterioração subseqüente das peças de madeira pelo processo de umedecimento e secagem, e pelo impedimento da aeração de peças de madeira com o aumento da umidade.

São afetados pelo contato direto com as águas, calçadas, áreas pavimentadas e cercas divisórias; as paredes; os pisos e esquadrias, em especial as de madeira; as fundações e pisos; e as instalações elétricas e telefônicas. Os danos mais freqüentes à construção observados são os danos à pintura, emboço e reboco, ao piso e revestimentos cerâmicos, instalações elétricas e hidráulicas (Penning-RowSELL e Chatterton, 1977).

Os custos relacionados aos danos podem incluir tanto os custos de reparo como a substituição do item danificado. Os custos de reparo podem ser estimados por consulta a empreiteiros e demais profissionais da área, ou por meio de informações de sindicatos e associações de indústrias da construção civil. Com relação aos danos às instalações, após a secagem, as mesmas deverão ser testadas por profissionais para a certificação das

condições de funcionamento. Possíveis danos devem ser identificados e reparados.

Os danos aos equipamentos elétricos dependem tanto da extensão quanto da duração das inundações, assim como do tempo de uso do equipamento e da sua localização dentro da edificação. Os custos envolvidos podem constar desde os custos de reparo até a substituição dos mesmos. O mobiliário pode, eventualmente, ser reparado, mas peças embutidas implicam em custos de reparo equivalentes aos custos de substituição. Revestimentos do tipo carpete podem sofrer danos desde a sua descoloração até o encolhimento dos mesmos, podendo frequentemente, necessitar de substituição.

Os custos de limpeza de residências podem ser estimados em pelo menos 20 horas de trabalho para inundações de pequena profundidade. Para inundações com sérias conseqüências, podem ser estimadas até 15 horas de trabalho para cada quarto da residência (Penning-Rowell e Chatterton, 1977).

De uma maneira geral, a tarefa de limpar as residências é feita pelos próprios moradores que faltam ao trabalho para executar a tarefa. O tempo gasto nesse serviço é determinado, entre outros fatores, em função da altura e da duração da inundação, da quantidade de sedimentos e detritos transportados pela onda de cheia, do grau de poluição das águas, das características da construção, da mão-de-obra envolvida, etc. Na situação de inexistência de informações sobre alguns desses fatores, utiliza-se somente a altura de inundação para estimativa do tempo de limpeza. A sua determinação pode ser feita por meio de entrevistas entre os moradores que passaram pela experiência ou por consultas a empresas especializadas em serviços de limpeza.

O custo dos dias faltados é determinado em função da renda média diária das pessoas envolvidas no processo sendo estimados pela renda *per capita* da população residente na área atingida (Salgado, 1995).

Os custos de recuperação e/ou reposição das propriedades e bens danificados podem ser obtidos junto aos prestadores de serviço locais, às empresas fornecedoras de materiais e equipamentos e junto aos sindicatos e associações ligados à área de construção civil.

3.3.2 - Danos aos setores de comércio e serviços

Para a avaliação de danos aos setores de comércio, são recomendadas duas metodologias. A primeira delas consiste na aplicação das informações dos padrões de profundidade/dano para a edificação e a segunda consiste na aplicação de questionários para a complementação dos dados da metodologia anterior e caracterização da atividade. Segundo Penning-Rowsell e Chatterton (1977), os danos ao setor de comércio varejista é o que apresenta o maior dano potencial por unidade de área. Isso se deve à combinação do alto valor do estoque com a intensa ocupação do espaço.

Para os setores de comércio e serviços, também podem ser adotadas tanto a abordagem a partir de dados históricos quanto à abordagem a partir de dados sintéticos. As vantagens e desvantagens de cada uma das metodologias nortearão a sua escolha ou recusa.

A utilização de dados históricos tem como principal vantagem uma avaliação dos danos ao setor, aparentemente mais convincente, uma vez que a mesma será feita a partir de dados reais de danos a uma área específica. Em contrapartida, essa metodologia apresenta como principal desvantagem o fato de dados de eventos atuais não serem confiáveis para a avaliação de inundações futuras, uma vez que a utilização desses dados pode vir a fornecer avaliações tendenciosas, acusando os danos mais óbvios, enquanto alguns danos ficam ocultos muitos meses após o evento de inundação que o causou.

A principal dificuldade encontrada na utilização de dados sintéticos para a avaliação dos danos aos setores do comércio reside na dificuldade de incorporação de vários aspectos dos danos nos dados padrões de cheia (velocidade, concentração de fluentes, etc.). Além disso, os dados resultantes podem não ser sempre aplicáveis a áreas semelhantes em função de particularidades da área relacionadas à qualidade dos artigos oferecidos. Ao mesmo tempo, a utilização da abordagem por dados sintéticos é bastante utilizada diante da escassez de dados históricos.

Os danos ao setor de comércio e serviços estão relacionados aos danos às mercadorias, à edificação, aos equipamentos, e aos custos de limpeza. As categorias mais sensíveis aos danos por inundação são: empresas de produtos alimentícios (supermercados, mercearias, laticínios, frigoríficos, peixarias, granjas, confeitarias, etc.), tabacarias, revistarias,

livrarias, papelarias, sapatarias, comércio de eletroeletrônicos, comércio de produtos químicos e de fotografia. Penning-Rowse e Chatterton (1977) recomendam obter dados de danos ao estoque e à propriedade para diferentes alturas de submersão de acordo com o padrão construtivo levantado por meio de questionários.

3.3.3 - Danos diretos às indústrias

De forma análoga aos itens anteriores, a avaliação dos danos decorrentes de inundações às indústrias precede da identificação das mesmas (ramo de atividade) e em qualificar os componentes das instalações físicas, caracterização de estoque e matéria prima utilizada. A aplicação de questionários específicos para a caracterização dos danos, mais uma vez, é uma ferramenta fundamental no processo de determinação destes.

Assim como na avaliação dos danos residenciais e nos setores de comércio e serviços, pode-se adotar tanto a abordagem por dados históricos quanto a abordagem por dados sintéticos. Ambas as situações apresentam vantagens e desvantagens conforme exposto a seguir.

A utilização de dados de danos de inundações passadas para a composição das relações padrões profundidade – dano apresenta como desvantagens: a inexistência de documentação confiável de dados das inundações; a falta de acurácia na estimativa dos danos feita imediatamente após a cheia; e a não consideração no processo, das perdas indiretas (perdas na produção). Torterotot (1993) recomenda que o tempo ideal para a elaboração de entrevistas para a obtenção de dados de perdas por inundações esteja entre 2 e 4 anos. Dessa forma diminui-se o risco de superestimativa dos prejuízos por questões emocionais e, também, no caso contrário, evita-se o esquecimento de aspectos importantes da avaliação.

A abordagem sintética, nesses casos, é feita tomando como base o conhecimento sobre o gerenciamento da indústria. A natureza hipotética da avaliação é uma desvantagem apontada para a abordagem em virtude da inacurácia das estimativas. No entanto, essa abordagem é preferida por levar em consideração as práticas tecnológicas atuais empregadas pelas indústrias analisadas (Penning-Rowse e Chatterton, 1977).

A análise dos dados se refere ao tipo de negócio, área total, níveis dos pisos, distribuição

do valor atual e susceptibilidade aos danos pela água para equipamentos e matéria prima, estimativa dos custos totais dos danos físicos, produtividade semanal e capacidade de retardar ou transferir a produção.

3.3.4 - Danos à saúde humana

O estudo desenvolvido por Souza (2001) evidenciou a relação positiva entre o aumento da ocorrência de doenças, tais como a leptospirose, e o aumento do tempo de duração das inundações, assim como a proporcionalidade entre o número de casos e a altura da lâmina d'água. O estudo relaciona, ainda, a drenagem urbana ao controle de doenças. Dentre essas, estão febre tifóide, hepatite A, diarreias, as helmintoses intestinais, malária, filariose, dengue e leishmaniose.

Os custos relacionados aos danos à saúde humana dizem respeito ao tratamento de enfermos, às perdas de vidas humanas e às perdas de horas de trabalho para tratamento e convalescença, além de prejuízos relativos à insegurança e ansiedade dos enfermos e de sua família.

No que diz respeito ao tratamento de enfermos os custos são relativos ao produto do número de pessoas atingidas pelo custo médio diário do tratamento e sua duração média. O número de pessoas atingidas depende, entre outros fatores, das condições sanitárias da bacia hidrográfica e das condições socioeconômicas da população. O número de pessoas atingidas pode ser obtido junto aos órgãos de saúde municipais e estaduais.

O custo médio diário e a duração média do tratamento devem considerar o período de tratamento hospitalar e de convalescença domiciliar. Esse custo pode ser obtido junto ao Sistema Único de Saúde (SUS) e aos Conselhos Regionais de Medicina (CRM), ou ainda junto a profissionais da área de saúde.

Além disso, deve ser considerado que o enfermo estará, durante o período de internação e convalescença, impossibilitado de exercer suas funções. Portanto, o prejuízo do tratamento envolve o tempo de duração do mesmo e a renda média diária do enfermo. A renda média pode ser estimada pela renda média *per capita* da população residente na área inundada.

3.3.5 - Atendimento a desabrigados

Os desabrigados, nos eventos de inundação, são deslocados e alojados em locais tais como acampamentos, escolas, igrejas, clubes, onde recebem assistência do poder público, da associação de moradores e de voluntários. Essa assistência compreende o fornecimento de abrigos, colchões, roupas, alimentos, assistência médica e social, etc.

Segundo Genta e Teixeira (2003), uma grande dificuldade em obter o número de pessoas afetadas e evacuadas durante as enchentes se deve ao fato de que grande parte da população atingida evacua as áreas afetadas por meios próprios, fazendo com que essas pessoas não integrem os dados oficiais. Segundo os autores, estima-se que o número de pessoas evacuadas seja de pelo menos o dobro dos registrados oficialmente. Além disso, os custos de algumas atividades não são contabilizados, fazendo com que não incorporem os dados registrados.

O número de abrigados é função da população atingida pela inundação, da altura e da duração da inundação, do número de pavimentos da residência e da experiência acumulada por eventos anteriores.

O custo total do atendimento compreende o produto do número de pessoas assistidas pelo custo médio diário e pela duração do atendimento.

A obtenção dos dados para o cálculo dos custos relativos a esse atendimento pode ser feita mediante consulta aos órgãos de Defesa Civil Estadual e Municipal.

3.4 – MEDIDAS PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÕES URBANAS

Os princípios norteadores dos sistemas de drenagem urbana tinham, até bem pouco tempo, como premissa, a retirada rápida das águas pluviais da bacia, resquício do pensamento predominante no período higienista. Partindo desse pressuposto, os sistemas de drenagem urbana foram concebidos formando uma rede de dispositivos para coleta e transporte das águas pluviais da bacia hidrográfica até o seu local de deságüe, compondo os sistemas clássicos de drenagem urbana.

O avanço da urbanização observado na segunda metade do século XX evidenciou os

limites dos sistemas clássicos, com a transferência para jusante dos problemas de inundação, e a necessidade de se incorporar novas obras e dispositivos para o controle das inundações. Essa constatação deu lugar a novos modos de gestão das águas pluviais, nos quais o manejo destas é tratado em conjunto com o ordenamento urbano, gerando um conjunto de práticas denominadas tecnologias alternativas ou compensatórias com o objetivo de compensar os efeitos que o escoamento superficial causa ao ambiente existente (Baptista *et al.*, 2005 e CETE du Sud-Ouest, 2002).

Dentre as vantagens da utilização de medidas compensatórias, Nascimento *et al.* (1997) e Urbonas e Stahre (1993) destacam:

- A diminuição do risco de inundação e a contribuição para a melhoria da qualidade da água no meio urbano;
- A redução ou eventual eliminação da rede de microdrenagem;
- A minimização das intervenções a jusante de novas áreas loteadas, quando a rede de drenagem pré-existente encontra-se saturada;
- Integração com o urbanismo e possibilidade de valorização da água em meio urbano;
- Recarga de aquíferos;
- Redução da poluição transportada para os corpos receptores.

3.5.1 - Classificação das técnicas compensatórias

O contexto do controle de inundações em área urbana abrange as ações a serem tomadas antes, durante e após a cheia. Dessa forma, o planejamento deve prever ações ao longo de todo o processo com a utilização das técnicas compensatórias, isoladas ou em conjunto, em todos os níveis operacionais para o controle de inundações e o combate à crise. Kundzewicz (2001) classifica as estratégias de proteção e gerenciamento das inundações em três níveis de atuação, quais sejam:

- Aquelas que modificam a susceptibilidade aos danos de inundações: corresponde às ações tomadas antes da cheia (legislação, planejamento do uso do solo, zoneamento);
- Aquelas que modificam o regime das cheias: instalação de medidas de defesa tais como barragens e diques, reservatórios, aumento da capacidade de escoamento de canais, controle na fonte, etc.;
- Aquelas que modificam o impacto das inundações: correspondem às ações executadas durante e após as inundações, tais como determinação da probabilidade de formação da

cheia, prognóstico do estágio futuro do rio e do fluxo do mesmo, emissão de avisos apropriados para as autoridades e para o público, etc.

As soluções alternativas podem ser classificadas, segundo Nascimento *et al.* (1997), de acordo com a sua ação sobre os processos hidrológicos e segundo sua localização no espaço. Sobre os processos hidrológicos, as medidas de controle atuam sobre a redução dos volumes ou das vazões. Essas medidas, segundo sua localização no espaço, buscam o armazenamento temporário podendo classificar-se em difusas e concentradas.

As técnicas compensatórias podem ser classificadas em dois grupos: não-estruturais e estruturais. As técnicas não-estruturais buscam a redução dos impactos das inundações a partir da alteração da exposição da população e de bens a estas, enquanto que as medidas estruturais buscam a modificação da resposta da planície de inundação frente a esses eventos.

3.5.1.1 - Técnicas Não-Estruturais

O intuito das medidas não-estruturais é o de reduzir as perdas de vidas humanas e os danos às propriedades, por meio de medidas de preparo, resposta, legislação, financiamento, entre outras (Andjelkovic, 2001). Essas atividades compreendem um conjunto de ações a serem tomadas em diferentes momentos da crise conforme mostrado na Tabela 3.3 e dentre elas encontram-se as listadas a seguir.

Tabela 3.3 - Tipos de atividades no gerenciamento da planície de inundação (adaptado de Bourget, 2001)

<p>Atividades Pré-cheia: Preparo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comunicação dos riscos • Planejamento de contingência • Previsão das condições do fluxo hidrológico futuro • Detecção da cheia 	<p>Atividades Pós-cheia: Recuperação</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atendimento às necessidades imediatas • Reconstrução das áreas danificadas • Realocação subsidiada • Recuperação/restauração do ambiente • Revitalização econômica • Revisão das práticas de gerenciamento das cheias
<p>Gerenciamento Operacional da Cheia: Resposta incidente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Advertências às autoridades e ao público • Resposta oficial e pública • Medidas emergenciais • Remoção de pessoas e objetos • Medidas de combate à cheia 	<p>Redução do Risco: Mitigação</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planejamento/gerenciamento do uso do solo • Zoneamento: desestímulo à ocupação em área inapropriada • Códigos de obra • Desapropriação • <i>Flood proofing</i> • Seguro • Treinamento e educação • Medidas de controle físico

Gerenciamento de desastres

O gerenciamento dos desastres relacionados às inundações urbanas está ligado intimamente à vulnerabilidade da população e ao fator aleatório do risco de inundação. A vulnerabilidade é um fenômeno dinâmico que depende do tipo de ocupação existente na planície de inundação, enquanto o risco está ligado às condições hidrológicas da bacia hidrográfica.

O gerenciamento dos desastres urbanos, categoria que inclui as inundações urbanas, deve ser compartilhado por todos os setores que tem conexão com o desenvolvimento e com as mudanças na política urbana. Dessa forma é possível reduzir a vulnerabilidade pela integração de medidas de sobrevivência, reabilitação e reconstrução dentro do planejamento do desenvolvimento urbano, e pela definição dos riscos aceitáveis baseados em uma análise quantitativa que inclua os custos dos danos decorrentes das inundações.

Posteriormente, o planejamento deve determinar os tipos de estruturas e onde as mesmas serão alocadas, quais os materiais e processos construtivos serão utilizados, quais características físicas serão alteradas, quais sistemas de emergência serão providenciados, quais as reservas de recursos serão mantidas e quais os sistemas de comunicação e transportes estarão disponíveis (Andjelkovic, 2001).

Previsão e alerta de cheia

Essa medida compreende um sistema de monitoramento composto de pessoal técnico e procedimentos para a aquisição e análise dos dados de precipitação e vazão para previsão de inundações. O sistema de previsão é composto de modelagem matemática para conversão das informações em um mapa de risco indicando as áreas a serem inundadas, para posterior distribuição de avisos às instituições e comunidades envolvidas.

O sistema é, ainda, composto de: uma política de disseminação da informação; um plano de emergência no qual são identificadas as ações a serem tomadas antes, durante e imediatamente após a ocorrência da cheia; e um programa de manutenção do gerenciamento das inundações (Andjelkovic, 2001 e Kundzewicz, 2001).

Políticas de desenvolvimento e uso do solo e Plano de zoneamento e uso do solo

Segundo Andjelkovic (2001), a maior parte dos problemas físicos, sociais e econômicos relacionados às cheias e inundações, erosão dos solos e poluição das águas pluviais, são atribuídos à urbanização inapropriada da planície de inundação, ao uso do solo insensato na cidade, à atenção insuficiente no planejamento da drenagem urbana, à ineficiente manutenção dos dispositivos de controle existentes e à deficiência no cumprimento da legislação de zoneamento.

O gerenciamento do uso do solo busca a alteração dos padrões de ocupação da planície de inundação para o desenvolvimento atual e futuro. O controle do zoneamento, sob responsabilidade do poder público, institui que tipo de atividade poderá ser instalada dentro da bacia hidrográfica levando-se em consideração o controle de inundação, contemplando os aspectos de risco, econômicos, sociais e ambientais. O poder público deverá impor as condições de ocupação apropriadas para assegurar que o desenvolvimento futuro seja compatível com os riscos de cheia predominantes na bacia. Dentre as restrições para as áreas de interesse, no tocante à gestão das águas pluviais, podem ser citadas as delimitações de áreas para implantação de estruturas de armazenamento ou a previsão de áreas de interesse para o favorecimento dos processos de infiltração das águas pluviais

Algumas soluções para o gerenciamento do uso do solo citados por Andjelkovic (2001) constam da Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Soluções para o gerenciamento do uso do solo (Andjelkovic, 2001)

- Para proteção de ocupação já existente: <ul style="list-style-type: none">• Estudos sob o controle de cheia;• Alerta e evacuação de cheia;• <i>Flood proofing</i>.	- Para regulamentação do uso da planície de inundação: <ul style="list-style-type: none">• Lei de zoneamento;• Regulamento da planície de inundação;• Regulamento da disposição de resíduos;• Regulamento de proteção da qualidade da água subterrânea;• Lei de subdivisão;• Lei de construção;• Redução da densidade populacional;• Proibição de funções específicas de uso;• Realocação de elementos que bloqueiem a calha principal do rio• Regulamentação sobre o material construtivo das obras;• Mapeamento e disponibilização de rotas de escape para locais mais altos;
- Para remoção ou modificação da ocupação existente: <ul style="list-style-type: none">• Aquisição pública;• Redesenvolvimento urbano;• Transformação do uso ou ocupação;• Reconstrução de instalações públicas;	
- Para desencorajar a ocupação: <ul style="list-style-type: none">• Informação pública;• Publicação de avisos de alerta;• Práticas de cobrança de taxas;• Políticas de financiamento;• Aumento dos custos do seguro contra inundações.	

Realocação

A realocação é uma medida adotada quando os riscos são altos em um local com ocupação já existente. Nesse caso uma das alternativas é a remoção da população e infraestrutura para outro local (Kundzevicz, 2001).

A aquisição da terra é uma opção que deve ser adotada quando já se esgotaram todas as possibilidades, em virtude dos transtornos que essa medida acarreta. Há uma grande dificuldade em se justificar a sua adoção com bases econômicas. Além disso, as pressões sofridas pelo poder público para promover o reassentamento da população a custos baixos, dificulta a aceitação dessa medida, principalmente nos países em desenvolvimento. Isso faz com que a localidade desocupada volte a ser invadida pela população de baixa renda.

A realocação apresenta muitas vantagens, mas também causa grandes prejuízos à vida social e econômica da população realocada. Nesses casos as autoridades locais podem optar pela compra das propriedades como uma forma de assegurar o uso local adaptado aos riscos existentes. Essa medida é, muitas vezes, necessária como uma medida temporária seguindo a ocorrência das inundações. Como medida permanente, seu sucesso depende do grau de sensibilidade com que a mesma é tratada (Andjelkovic, 2001).

Flood Proofing

Flood proofing é o termo utilizado para definir o uso de técnicas permanentes, eventuais e de emergência tanto para prevenir a entrada da água pluvial nas edificações e na infraestrutura, quanto para minimizar os danos decorrentes do escoamento e do contato com as águas de chuva por meio da preparação da edificação propriamente dita.

Nos edifícios, a análise da vulnerabilidade é dividida de acordo com o tipo de edificação (convencional, moderno ou tradicional), e inclui a avaliação da resistência à força da água (carga hidrostática, aumento e carga hidrodinâmica) e as mudanças nas características do material quando imerso em água (qualidade da argamassa, presença de areia fina e argila expandida nas fundações) (Andjelkovic, 2001). Essa medida altera as relações existentes entre os danos e as edificações. A maneira com a qual essa modificação ocorre, depende das medidas usadas (USACE, 1995).

Seguro contra inundação

Seguro contra inundação tem como proposta a compensação pelas perdas causadas pelas por estas quando os danos previstos são superiores aos valores aceitáveis. A vantagem dessa modalidade reside no fato de ter custos inferiores em relação à utilização de medidas estruturais, diminui os gastos do governo ocasionados pela indenização das perdas pela cheia e cria vantagens ambientais pela não interferência na natureza (Thampapillai e Musgrave, 1985).

Outras medidas não-estruturais

Além das alternativas citadas anteriormente, outras medidas, também, são consideradas não-estruturais. São medidas que dizem respeito à legislação do ordenamento urbano e medidas que assegurem o seu cumprimento, além dos planos de auxílio durante e pós- cheia. Nessa categoria, os planos de atendimento à emergência para evacuação e alojamento da população atingida, os programas de educação ambiental para conscientização da população sobre os riscos e sobre como evitar ou minimizar inundações, são medidas bastante eficazes no combate às inundações em áreas urbanas.

A disseminação das informações pode ser feita pela utilização das emissoras de rádio e tv, internet, jornais, panfletos, nas escolas por meio de palestras, ou o que ocorre de forma muito comum em países em desenvolvimento, ilustrações fixadas ou distribuídas em centros comunitários e cruzamentos de vias, podem constituir um importante meio de veiculação da informação.

3.5.1.2 - Técnicas Estruturais

Os princípios que norteiam a utilização de técnicas compensatórias no controle de cheias e inundações são: a retenção da água por mais tempo na bacia hidrográfica com o intuito de regular as vazões, limitar a poluição dos meios naturais e favorecer a infiltração no solo das águas pluviais (Chocat, 1997).

Medidas estruturais são aquelas que buscam a modificação do sistema fluvial evitando prejuízos decorrentes das enchentes podendo ser classificadas como extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, tais como alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. As medidas intensivas

são aquelas que agem no rio e podem ser de três tipos (Simons *et al.*, 1977 *apud* Tucci, 1997): a) que aceleram o escoamento - construção de diques e polders, aumento da capacidade de descarga dos rios e corte de meandros; b) que retardam o escoamento - reservatórios e as bacias de amortecimento; c) que proporcionam o desvio do escoamento - canais de desvio (Tucci, 1997).

As técnicas compensatórias podem ser utilizadas de forma autônoma, ou seja, sem a utilização de uma rede de condutos, ou associadas a uma rede de drenagem clássica. Podem, ainda, ser aplicadas à escala física de uma parcela, a uma área intermediária ou à escala de uma bacia hidrográfica. Podem ser utilizadas de maneira isolada ou em conjunto com outras medidas, com o cuidado de, ao se aplicar um conjunto de técnicas, avaliar de forma global a eficiência do arranjo com relação à redução das vazões de pico e dos volumes escoados em relação à situação original (Chocat, 1997).

As técnicas compensatórias podem, ainda, ser classificadas conforme a sua área de atuação na bacia hidrográfica como sendo:

- Distribuída ou na fonte – atua sobre lotes, passeios, etc.;
- Na microdrenagem – atua sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos;
- Na macrodrenagem – atua sobre os córregos, rios e riachos urbanos.

De acordo com a sua atuação no hidrograma, as técnicas compensatórias podem ser organizadas como: elementos de infiltração e percolação; elementos de armazenamento; e aumento na eficiência do escoamento.

Os elementos de infiltração e percolação propiciam maior infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial. Esses elementos são aplicados na microdrenagem ou como controle na fonte e são bastante utilizados para controlar o escoamento pluvial em lotes individuais. De acordo com Urbonas e Stahre (1993), os elementos de infiltração e percolação apresentam as seguintes vantagens:

- i) Recarga de aquíferos;
- ii) Preservação e intensificação da vegetação natural;
- iii) Redução da poluição transportada para corpos receptores;

- iv) Redução de picos a jusante;
- v) Redução das dimensões dos condutos e dos custos.

As desvantagens apresentadas pelos autores para esses elementos são:

- i) Os solos podem se tornar impermeáveis com o tempo;
- ii) A confiança na sua operação pode deixar as comunidades frente a enormes custos no futuro, quando da ocorrência de uma tormenta, esses sistemas começarem a falhar, deixando de exercerem a função para a qual foram destinados;
- iii) O nível do lençol freático pode aumentar e causar danos ao subsolo e fundações das construções.

Os elementos de armazenamento têm como função reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo seu pico e distribuindo a vazão no tempo. Podem ser aplicados para esse caso, reservatórios com tamanho adequado para residências ou no porte de macrodrenagem.

O aumento na eficiência do escoamento utiliza condutos e canais para drenar as áreas inundadas, tendendo a transferir enchentes de uma região para outra. São elementos característicos dessa categoria, os sistemas clássicos de drenagem.

Poços de infiltração

Os poços são dispositivos pontuais que ocupam pequena área superficial com a função de evacuar diretamente as águas pluviais no solo, podendo drenar superfícies da ordem de poucos a até milhares de metros quadrados. Essa técnica tem por vantagem a possibilidade de ser aplicada em locais onde a camada de solo superficial é pouco permeável (forte urbanização ou camada superficial impermeável), mas cuja camada profunda tem grande capacidade de infiltração.

As águas pluviais podem ser introduzidas nos poços por escoamento superficial direto (modo difuso) ou por meio de uma rede de drenagem (modo localizado), e a evacuação das águas pluviais pode ocorrer pela descarga do volume captado na superfície em uma camada não saturada de solo (poço de infiltração) ou pela descarga do volume captado da superfície diretamente no lençol subterrâneo (poço de injeção) (Baptista *et al.*, 2005 e

Chocat, 1997).

Valas, valetas e planos de retenção e infiltração

As valas, valetas e planos de infiltração e retenção são técnicas constituídas por depressões escavadas no solo a céu aberto com a finalidade de recolher as águas pluviais e propiciar o seu armazenamento temporário, podendo, ainda, favorecer a infiltração.

As valas ou valetas diferenciam-se dos planos por apresentarem sua dimensão longitudinal significativamente maior que a sua dimensão transversal, enquanto os planos não apresentam diferença significativa em relação às suas dimensões.

Se os dispositivos citados apresentarem apenas a função de armazenamento temporário das águas pluviais, os mesmos são denominados de valas, valetas e planos de retenção. Se associada à função de armazenamento estiver prevista a infiltração das águas pluviais de modo a reduzir o volume do escoamento na superfície, então os dispositivos são denominados de valas, valetas e planos de infiltração. As valas, valetas e planos de infiltração são bem adaptados a zonas de habitação individual pouco densas (Baptista *et al.*, 2005 e Chocat, 1997).

Trincheiras de infiltração e retenção

As trincheiras são técnicas compensatórias lineares implantadas junto à superfície do solo ou a pequena profundidade, com a finalidade de recolher as águas pluviais de afluência perpendicular a seu comprimento, de modo a favorecer a infiltração e o armazenamento. Sua concepção apresenta largura e profundidade reduzidas em relação ao comprimento. Esses dispositivos podem ser utilizados em canteiros centrais e passeios públicos, ao longo do sistema viário, junto a estacionamentos, jardins, terrenos esportivos e em áreas verdes em geral.

A entrada das águas pluviais se dá tanto diretamente pela superfície do dispositivo, quanto através de um sistema de drenagem convencional. A evacuação em trincheiras de infiltração se dá por meio da infiltração da água no solo pelas paredes laterais e fundo. A descarga direta nos meios receptores configura esse dispositivo como uma trincheira de retenção.

Pavimentos permeáveis com estrutura de retenção e infiltração

Os pavimentos com estrutura de retenção e infiltração têm como objetivo o decréscimo das vazões do escoamento superficial e o armazenamento temporário da chuva no corpo do pavimento. Essa técnica pode reduzir os volumes que passam pela rede de drenagem convencional quando da infiltração da água no solo suporte do pavimento. O que diferencia um pavimento poroso de um pavimento com estrutura de retenção é que o primeiro é composto de revestimento drenante com um corpo impermeável, sendo seu interesse, essencialmente, melhorar a segurança rodoviária, o conforto dos condutores e reduzir os níveis sonoros. O segundo pode ou não possuir revestimento drenante, mas possui sempre corpos porosos que permitem o armazenamento da água (Azzout *et al.*, 1994).

Para o controle do escoamento superficial os pavimentos podem ter estruturas diferenciadas. Esses dispositivos podem ser dotados de revestimentos superficiais permeáveis, ou de uma estrutura porosa, ou ainda de uma estrutura porosa e de dispositivos de facilitação da infiltração (Baptista *et al.*, 2005).

A introdução das águas pluviais no pavimento pode ocorrer diretamente sobre a superfície do mesmo quando o revestimento é feito de material permeável ou por meio de difusores acoplados ao sistema de drenagem superficial, quando o revestimento é impermeável. A retenção temporária da água é efetuada no corpo do pavimento, fazendo com que o mesmo se comporte como um reservatório enterrado. A evacuação pode ser efetuada por infiltração direta no solo ou por meio de um sistema de drenos acoplados ao sistema de drenagem a jusante.

Telhados armazenadores

Os telhados armazenadores são dispositivos compostos de uma estrutura portante, e elementos de armazenamento com o objetivo de armazenar, temporariamente, as águas pluviais e descarregá-las a uma vazão limitada (Chocat, 1997). Esses dispositivos podem ser aplicados de forma isolada a uma parcela urbana, ou a um conjunto de parcelas. Podem ser utilizados em telhados planos ou com declividades inferiores a 5%, desde que compartimentados.

Os telhados armazenadores podem, ainda, ser dotados de cobertura vegetal proporcionando

proteção térmica, não requer disponibilidade de espaço adicional, podendo também, se adequar aos projetos arquitetônico e urbanístico. No entanto, a adoção dessa técnica requer a observância de critérios construtivos tanto para as obras novas, já concebidas com essa finalidade, quanto para obras já existentes, observando-se neste último caso, as limitações impostas pela estrutura da mesma. A descarga das águas armazenadas é assegurada por dois dispositivos: os dispositivos de regulação e limitadores de nível (Baptista *et al.*, 2005).

Bacias de retenção e detenção

O termo bacia de retenção ou detenção se aplica às obras de saneamento destinadas à armazenar temporariamente as águas pluviais quando da ocorrência das cheias, antes da sua restituição aos meios receptores, a partir de condições pré-definidas (Chocat, 1997).

Segundo Baptista *et al.* (2005), as finalidades destes dispositivos são:

- O amortecimento do hidrograma de cheias no contexto urbano como forma de controle de inundações e o rearranjo das vazões nos hidrogramas de cheia;
- A redução dos volumes do escoamento superficial, quando da utilização de bacias de infiltração;
- A redução da poluição difusa de origem pluvial em contexto urbano.

As bacias de detenção podem ser:

- Bacias a céu aberto com ou sem espelho d'água permanente. As bacias secas armazenam água apenas durante os eventos de precipitação;
- Bacias de zonas úmidas, que são áreas úmidas artificialmente construídas, semelhantes a várzeas, capazes de armazenar água em pequenas profundidades e extensas áreas, com predominância de vegetação típica de zonas úmidas;
- Bacias subterrâneas ou cobertas que são bacias típicas de zonas densamente urbanizadas onde há dificuldade em se encontrar espaço para a implantação de bacias a céu aberto.

As bacias secas podem ainda ser impermeabilizadas não permitindo a infiltração controlando as vazões geradas pelo escoamento pluvial. As bacias secas podem ter sua superfície vegetada ou com cobertura granular, funcionando, simultaneamente, com a infiltração das águas pluviais e com armazenamento temporário.

Reservatórios ou parques urbanos têm a mesma função das bacias de detenção com

dimensões superiores. Suas grandes vantagens são a possibilidade de acomodar as diferentes amplitudes de vazões de cheia, dentro da parte da bacia que o parque ou reservatório drena, criar um espaço ambiental agradável, reduzir o material sólido e melhorar a qualidade da água (Urbonas e Stahre, 1993 e Tucci e Genz, 1995).

Diques

Diques de proteção têm a finalidade de estabilizar as margens dos rios e proteger a população ribeirinha de alturas de água sazonais, por períodos de apenas poucos dias, ou semanas por ano (USACE, 1995). Os diques permitem a proteção localizada para uma região ribeirinha através da redução da seção de escoamento, podendo provocar o aumento da velocidade e dos níveis de inundação.

Canais de desvio

Os canais de desvio são executados de forma a impedirem que um volume excedente proveniente do escoamento de uma determinada precipitação atinja uma área susceptível. Quando a vazão no canal principal alcança um determinado nível pré-estabelecido, a vazão excedente flui para o canal de desvio. Dessa forma, a vazão no canal principal é mantida, eliminando ou reduzindo os danos às propriedades a jusante.

Essa medida é bem aceita quando há a necessidade de um alto grau de proteção e há disponibilidade no local, para a construção do canal ou túnel de desvio a custos racionais em função dos danos evitados (USACE, 1995).

Aumento na eficiência do escoamento

Aumento na eficiência do escoamento utiliza condutos e canais para drenar as áreas inundadas, tendendo a transferir enchentes de uma região para outra. Nessa categoria, podem ser citados: canalização, modificações no canal e dragagem.

A canalização amplia a capacidade do rio em transportar uma determinada vazão, pelo aumento da seção, diminuição da rugosidade ou aumento da declividade da linha de água. Quando o canal é aprofundado, a linha d'água é rebaixada evitando a inundação. A ampliação da seção produz redução da declividade da linha d'água e redução dos níveis a montante.

3.5.2 – Análise da viabilidade das técnicas compensatórias estruturais

Antes da inserção de qualquer alternativa de controle de inundações, deve ser feito o diagnóstico da área, levando-se em consideração as limitações impostas pelo local no que diz respeito às características físicas naturais, às limitações geológicas e da rede hidrográfica, e ainda, as limitações decorrentes da legislação local em vigência. Aspectos urbanísticos e de infraestrutura e aspectos sanitários e ambientais, também, devem ser considerados.

No contexto das limitações físicas, podem ser citadas (Baptista *et al.*, 2005 e Certu, 1998):

- Relevo: um local de relevo plano é pouco favorável à instalação de dispositivos que propiciem o escoamento superficial, mas ao mesmo tempo, podendo favorecer as medidas de armazenamento. Deve-se salientar que a declividade média geral de uma área não é determinante na escolha da técnica a ser utilizada, mas sim a declividade do local onde a mesma será inserida.
- Profundidade do lençol freático: a pouca profundidade do lençol inviabiliza a utilização de alternativas que propiciem a infiltração, podendo em outro caso ocorrer danos às obras por subpressão, restringindo, assim, a construção de obras enterradas.
- A existência de um exutório permanente: com exceção nos casos nos quais é prevista a infiltração das águas pluviais, os locais de deságüe, naturais ou artificiais, devem ser identificados e verificados quanto à adequabilidade em relação ao ponto de vista da qualidade e quantidade.
- Análise da constituição geológica do solo: a utilização de técnicas de infiltração precede da análise da constituição geológica do solo onde será aplicada a medida em virtude da sua capacidade de infiltração. Os solos com condutividade hidráulica entre 10^{-3} e 10^{-6} m/s podem, *a priori*, admitir técnicas de infiltração. A inserção da medida, no entanto, requer a medida da condutividade hidráulica *in situ*.
- Avaliação da estabilidade do subsolo: se faz necessária diante do risco de dissolução em certos solos na presença de água. Nesses casos são inviabilizadas quaisquer técnicas que privilegiem a infiltração, tendo em vista a possibilidade de problemas de estabilidade das futuras obras podendo, mesmo, levar ao desmoronamento.
- Nível operacional de água: as obras com espelho d'água permanente necessitam manter um certo nível de água, mesmo que este seja flutuante. Sendo assim, deve haver a alimentação externa constante nessas estruturas seja por fonte superficial ou profunda.

Com relação aos aspectos urbanísticos, devem ser levados em consideração os seguintes aspectos:

- Disponibilidade de espaço: algumas técnicas requerem disponibilidade de espaço para sua inserção, principalmente quando se trata de alternativas com abrangência da macrodrenagem. Nesses casos devem-se observar as disponibilidades fundiárias e os custos das restrições ocasionadas pelo uso da área para fins de drenagem urbana. É interessante buscar soluções multifuncionais de utilização da área onde se pretende inserir a medida com usos múltiplos, tais como quadras esportivas ou espaços verdes e bacias de retenção;
- Inclinação maior que 5% não é propícia à utilização de telhados como estruturas armazenadoras. A forma dos telhados também pode inviabilizar a sua utilização para esse fim. Além da forma, a estrutura que recebe o telhado armazenador, nos casos de obras já construídas, deve ser verificada.
- A existência de redes de serviços públicos – água, telefonia, eletricidade, etc. – pode ser um fator limitador da instalação de alguns tipos de medidas se as mesmas não forem consideradas na etapa de planejamento.

No tocante aos aspectos sanitários e ambientais, devem ser avaliados os riscos de poluição das águas e dos solos, o risco de águas com finos e, o risco sanitário.

No tocante ao risco de poluição das águas, devem ser observados dois aspectos: a qualidade das águas de escoamento e a vulnerabilidade do corpo receptor. Com relação às águas de escoamento, as características do escoamento em zona urbana estão intimamente ligadas à ocupação do solo (ex. residencial, industrial) na área de drenagem, e da natureza da superfície drenada (ex. telhados, arruamento). A vulnerabilidade do corpo receptor está ligada aos aspectos de uso do mesmo (fonte de água potável, irrigação, etc.) e a seu valor patrimonial (aptidão a responder por necessidades futuras).

A análise de águas com finos deve ser levada em consideração devido aos efeitos posteriores, principalmente, em superfícies drenantes e dispositivos de infiltração, devido à possibilidade de colmatação. Em bacias de detenção, o assoreamento é uma grande preocupação, uma vez que não tenham sido previstos mecanismos de decantação a montante.

No que diz respeito ao risco sanitário deve ser levada em consideração a possibilidade de estagnação da água em determinadas técnicas, o que pode resultar no desenvolvimento de organismos vetores de doenças. Além dessas limitações, não devem ser excluídas aquelas que analisam os aspectos sociológicos (inserção das medidas no local, usos, gestão, etc.) e as limitações econômicas, relacionadas ao investimento na solução e manutenção.

A decisão sobre a adoção de uma técnica ou conjunto de técnicas para o controle de inundações, pode ser feito de acordo com as seguintes variáveis:

- Os diferentes tipos de urbanização;
- O conjunto de soluções compensatórias;
- O conjunto de limitações técnicas (CETE du Sud-Ouest, 2002).

Considerando a escala física prevista para ser trabalhada neste estudo, a Tabela 3.5 apresenta a vocação e as possibilidades de utilização das técnicas compensatórias em relação a diferentes aspectos. Maiores detalhes sobre a aptidão das técnicas aplicadas na microdrenagem encontram-se detalhadas no Anexo A.

Tabela 3.5 - Vocação e possibilidades das técnicas (Baptista *et al.*, 2005)

Técnica	Vocação e possibilidades das técnicas							
	Área de drenagem controlada	Controle de vazão de pico			Controle de volumes	Recarga do lençol	Reuso direto	Controle da erosão a jusante
		TR Pequenos (até 5 anos)	TR Médios (até 30 anos)	TR Grandes (até 100 anos)				
Bacias de detenção/retenção	Grande (>16ha)	P	P	V	N	N	V	V
Bacias de infiltração	Média	P	P	V	P	P	V	P
Valas e valetas de detenção	Pequena-média	V	V	N	N	N	N	V
Valas e valetas de infiltração	Pequena-média	V	V	N	P	P	N	V
Pavimentos porosos	Pequena-média	P	V	N	V	V	N	V
Revestimentos permeáveis	Pequena-média	V	N	N	V	V	N	V
Trincheiras de detenção	Pequena (< 4ha)	P	V	N	N	N	N	V
Trincheiras de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Poços de infiltração	Pequena	P	V	N	P	P	N	V
Telhados armazenadores	Pequena	P	V	N	N	N	V	V
Reservatórios individuais	Pequena	P	V	N	N	N	V	V

P: Adaptada; V: Pode ser adaptada; N: Pouco adaptada ou mesmo impossível

3.6 – CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

O presente capítulo tratou da análise contextual das inundações relacionando as suas diferentes formas de ocorrência e seus impactos, dando ênfase naqueles observados em áreas urbanas. Além desses aspectos foram apresentadas diversas alternativas de controle de inundações, suas potencialidades e limitações, suas aplicações em relação à escala espacial, permitindo, assim, direcionar a escolha de alternativas de controle tanto do tipo estrutural quanto não-estrutural na escala espacial adequada.

A análise do risco permitiu elucidar as componentes do mesmo e estabelecer em que situações os perigos são maiores para a população e agravam os prejuízos causados por inundações.

Em se tratando de prejuízos, o presente capítulo faz um apanhado dos danos decorrentes das inundações em áreas urbanas e a apresentação de metodologias aplicadas para a estimativa dos mesmos em diferentes países ao longo do tempo. Nesse aspecto, são ainda apresentadas recomendações sobre a coleta de dados e os parâmetros das inundações de maior influência na estimativa dos danos orientando, assim, o desenvolvimento de trabalhos complementares aos apresentados no capítulo, enfatizando as necessidades no contexto brasileiro.

Após as contribuições do presente capítulo, o item a seguir trata da análise das alternativas de solução para o problema das inundações urbanas.

4.0 - ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE ARRANJOS DE MEDIDAS PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÕES

A análise da viabilidade da inserção de técnicas compensatórias para controlar ou mitigar os impactos das inundações em área urbana, requer a análise de aspectos muitas vezes conflitantes. Não é suficiente buscar a melhor solução técnica ou a que apresente menor custo, o atendimento a apenas esses requisitos não garante a eficácia das medidas adotadas. Assim, a avaliação dos aspectos sociais e culturais deve ser introduzida nessa análise. Além disso, as decisões devem ser compreendidas por todos os segmentos envolvidos, corpo decisor, corpo técnico e comunidade. Sendo assim, atualmente há uma procura constante de mecanismos e métodos que auxiliem a decisão em situações complexas. Nesse contexto tem-se buscado elencar o conjunto de soluções que atendem a objetivos pré-estabelecidos, e nessa busca, novas ferramentas vêm sendo desenvolvidas e aprimoradas de modo a auxiliar o processo de tomada de decisão.

4.1 – TÉCNICAS APLICADAS À TOMADA DE DECISÃO

Segundo Bursztyn (1994) *apud* Harada e Cordeiro Netto (1999), um processo de decisão executado de forma racional compara as vantagens e desvantagens de cada ação que se pretende implementar. Quando as ações se tratam de empreendimentos governamentais ou com fins sociais, a análise torna-se mais complexa, tendo em vista os condicionantes relacionados à ação. A decisão é tomada não apenas considerando os ganhos financeiros da ação, mas levando em consideração os benefícios inferidos a ela e os impactos sociais resultantes da mesma.

A análise desses problemas segue dois grandes grupos de metodologias: as análises de critério único e as análises multicritério.

4.1.1 - Análises de critério único

As análises de critério único apresentam uma estrutura de seleção simplificada, baseada na agregação de diferentes efeitos analisados e a consideração dos ganhos em relação a um único critério (máximo ou mínimo).

4.1.1.1 - Análise Custo-Benefício

Segundo OCDE (1996), a análise custo-benefício é o método mais comum de avaliação prévia de projetos e políticas. Sua concepção permite avaliar os projetos sobre uma base de comparação na qual são balanceados os custos e as vantagens dos mesmos.

O método toma como base uma situação de referência cujos valores são expressos por uma unidade monetária e trazidos para a data atual. Alguns métodos permitem levar em conta os objetivos de equidade e as estruturas de preferência em relação ao tempo. Segundo Henry (1984) *apud* Torterotot (1993) os diversos elementos do método e da sua aplicação surgem da escolha de valores e constituem os desafios entre os atores do processo de decisão. Seu funcionamento consiste na identificação dos diversos modos de atendimento aos objetivos, sendo seguido da determinação das variações viáveis ao projeto / política, para ao final, decidir sobre qual a solução a ser adotada.

Segundo Gilpin (1995), a aplicação da análise custo-benefício é preferível antes da execução da ação, muito embora, em determinadas situações, ela possa ser aplicada após a implantação do projeto. A perspectiva dessa análise não reflete o interesse de qualquer indivíduo, organização ou grupo. A análise custo-benefício é aplicada em situações em que os sinais que os preços de mercado fornecem são ausentes ou falhos para refletir adequadamente os custos de oportunidade dos recursos envolvidos. Essa análise pode ser aplicada a políticas, planos, programas e projetos, em matéria de suporte de mercado, educação, pesquisa científica e no meio ambiente.

Segundo Hanley e Spash (1993) a estrutura da análise custo-benefício é composta de cinco fases que vão desde a definição do projeto até a avaliação monetária dos impactos.

No caso de empreendimentos privados, nos quais não se considera os objetivos sociais, são avaliados os aspectos de rentabilidade da ação, enquanto que para investimentos governamentais ou de caráter social, os benefícios são considerados em conjunto com outros fatores. Nesse último caso, o intuito é buscar determinar o objetivo social do projeto, sob o ponto de vista da coletividade (Harada e Cordeito Netto, 1999).

As ferramentas da análise custo-benefício incluem: custos de oportunidade; avaliação contingente; preços sombra; redução ao valor presente; o conceito do ótimo de Pareto; e a análise da aceitação ou não do projeto se os benefícios sociais forem positivos (Gilpin, 1995).

As alternativas que o resultado da análise custo-benefício pode sugerir, segundo OCDE (1996) são:

- Não fazer nada;
- Retardar o projeto;
- Dividir o projeto em diversas fases;
- Tomar as medidas relevantes das políticas antes que as decisões dos gastos.

Dentre as vantagens inferidas a essa análise, pode-se citar o fato dos resultados serem mensuráveis e compreensíveis para os participantes do processo decisório, a consideração do valor de custo de todas as alternativas e por permitir a comparação entre diferentes tipos de ações. As desvantagens são a impossibilidade do método de levar em conta a repartição dos benefícios e dos custos na sociedade, uma vez que isso exige um grande número de informações, tendendo a negligenciar conseqüências cujos efeitos não podem ser quantificados (Harada e Cordeiro Netto, 1999).

4.1.1.2 - Análise Custo Efetividade

A análise custo-efetividade é uma abordagem essencialmente financeira, adotada quando não é possível, não se quer ou não se deve estimar os benefícios de uma decisão. Essa metodologia seleciona as alternativas de mínimo custo para atingir os objetivos definidos, permitindo, pelo menos, a alocação eficiente dos recursos. Essa alternativa não permite que se julgue a natureza da decisão tanto em termos absolutos quanto em termos relativos.

A vantagem da utilização desse método reside na sua simplicidade em virtude da não quantificação dos benefícios. As desvantagens atribuídas a ela estão relacionadas à não consideração dos custos sociais resultantes de efeitos diretos e indiretos sobre a decisão e a impossibilidade de julgamento sobre a pertinência global da decisão tomada (Harada e Cordeiro Netto, 1999).

4.1.1.3 - Análise Risco-Benefício

Essa metodologia de análise pode ser considerada uma inversão da análise custo-benefício, uma vez que a mesma toma por hipótese a ausência de ação. Nessa análise deve-se determinar o risco aceitável e as medidas de remediação aceitáveis para as conseqüências desse risco, para posterior comparação aos benefícios advindos da ação. A metodologia leva em consideração, ainda, outros custos que não envolvem riscos. A melhor opção não é, necessariamente, aquela que apresenta o menor risco, mas a que apresenta os benefícios mais compensadores.

As vantagens da metodologia são a estrutura flexível que permite considerar tanto benefícios quanto custos e a consideração do ponto de vista da sociedade na determinação do risco aceitável. A desvantagem reside no caráter subjetivo da análise, que considera estimativas de difícil mensuração (Harada e Cordeiro Netto, 1999 e OCDE, 1996).

4.1.1.4 - Análise Decisória

Na análise decisória, ao contrário da análise custo-benefício, não há uma atitude neutra por parte do decisor, as decisões são tomadas com base na sua aversão pelo risco. O processo é semelhante à análise custo-benefício até o ponto onde são determinados os resultados e as probabilidades. A partir desse ponto é feita uma lista de preferências e de julgamentos a serem avaliados, a fim de obter os pesos que serão atribuídos pelos decisores, aos resultados, para diferentes níveis de risco.

O decisor poderá escolher uma solução que afaste o risco de um resultado ruim ao invés de uma solução que ofereça um ganho superior, mas que apresente um risco mais elevado.

As preferências do decisor podem ser expressas sob a forma de “pesos de vantagens” para os diversos resultados. Esses pesos podem conceber as regras formais de decisão, em que a vantagem esperada de cada resultado possível é calculada multiplicando a probabilidade que ela se concretize pela sua vantagem. A solução preferida será aquela que apresentar maior vantagem esperada (OCDE, 1996).

4.1.2 - Análise Multicritério

As situações nas quais se inserem os problemas ligados aos recursos hídricos, e em especial ao controle de inundações, não se encaixam, forçosamente, no atendimento a um único critério. Da análise dos aspectos relevantes no processo de decisão tais como os aspectos sociais, econômicos, ambientais, políticos e culturais, dentre outros, depende o sucesso das iniciativas de controle e mitigação dos impactos das inundações nas comunidades. Nesse sentido, a decisão sobre a adoção de qualquer conjunto de medidas deve atender a múltiplos critérios, e em muitos casos, dependendo da análise, de múltiplos decisores, que por sua vez podem ter interesses conflitantes e visões distintas acerca do planejamento do controle de inundações (Castro, 2002).

Assim como a análise custo-benefício, a análise multicritério pretende dar um julgamento categórico e definitivo sobre a aceitação de um projeto ou de uma política (OCDE, 1996). Essa análise quantifica os custos e vantagens de um projeto ou de uma política por grandezas monetárias ou não, na qual diferentes métodos são utilizados para em seguida normalizar as diferentes unidades consideradas e classificá-las entre as situações comparadas. O interesse sobre a análise multicritério reside no fato de ela poder integrar uma multiplicidade de critérios e, por conseguinte, a natureza dos impactos. Algumas metodologias podem, ainda, abordar múltiplos objetivos (Torterotot, 1993).

Na análise multicritério deve haver o tratamento simultâneo dos diferentes aspectos supra citados, que além do caráter científico, traga a capacidade de agregar de maneira ampla, todas as características consideradas importantes no processo, inclusive as não-quantitativas. A análise, então, não se limita à busca de um maior ou menor valor, ou à maximização ou minimização de uma função, mas sim considerar um grupo de funções ou atributos. A análise multicritério pretende apoiar o processo de tomada de decisão ao recomendar ações ou cursos de ação a quem vai tomar a decisão, em uma situação caracterizada pela existência de diferentes funções objetivo simultâneas (Gomes *et al.*, 2004 e Harada e Cordeiro Netto, 1999).

A existência de mais atributos entre alternativas impede a nítida determinação da superioridade de uma alternativa em relação à outra. Não existe, forçosamente, a situação de

dominância na qual a totalidade dos atributos de uma alternativa tem superioridade em relação à outra. Também, não é clara a transitividade entre alternativas comparadas, uma vez que a situação de dominância observada em relação a um critério não necessariamente obedece a mesma regra em relação a outro. A ferramenta para solucionar esse tipo de situação deve, ainda, incorporar os conceitos de indiferença e incomparabilidade de características.

Essa abordagem é incorporada pelos métodos multiobjetivo, que tendem a buscar a otimização de vários aspectos e os interesses de vários grupos. Na existência de vários atributos a serem avaliados e medidos em diferentes escalas, essa análise assume, também o caráter multicritério. A análise multicritério permite, ainda, “medir o grau em que cada alternativa atende ou cumpre os vários objetivos que devem ser especificados pelos agentes interessados na escolha, havendo, dessa forma, um “grupo de regras de decisão”” (Harada e Cordeiro Netto, 1999).

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

4.1.3 - Classificação dos métodos multicritério

A classificação apresentada por Cohon e Marks (1975) *apud* Braga e Gobetti (1997), Barbosa (1997) e Goicoechea *et al.* (1982), dividiu os métodos de análise multicritério em três grupos segundo o papel do decisor e do analista no processo decisório. No primeiro grupo encontram-se as técnicas que geram soluções não dominadas, no segundo grupo estão as técnicas que utilizam a articulação antecipada de preferências e por último o grupo de técnicas que utilizam uma articulação progressiva de preferências.

Técnicas que geram soluções não dominadas

Nesse grupo, as alternativas são geradas pelo analista em uma etapa anterior à da incorporação da estrutura de preferência do decisor. Estão incluídos nesse grupo o Método dos Pesos, o Método das Restrições e o Método Multiobjetivo Linear.

Técnicas que utilizam uma articulação antecipada de preferências

Nesse conjunto de técnicas, o decisor manifesta seu juízo de valor perante as possíveis trocas entre os objetivos e sobre os pesos relativos entre eles. São incluídos nesse grupo: Método da Função Utilidade Multidimensional, o Método da Programação por Metas, o Método ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant Réalité*), o Método da Matriz de Prioridades e Programação de Compromisso (*Compromise Programming*).

Técnicas que utilizam uma articulação progressiva de preferências

Nesse grupo de técnicas, a interação analista-decisor ocorre durante todo o processo decisório. Nele estão incluídos o Método do Valor Substituto de Troca e o Método dos Passos.

Já a classificação adotada por Harada (1999) e Harada e Cordeiro Netto (1999), dita como mais simples e de maior aceitação, divide os métodos multiobjetivo em três famílias:

Métodos baseados na teoria da utilidade-multiatributo

Nessa categoria de métodos considera-se a agregação de diferentes atributos em uma única função com o objetivo básico de obter a alternativa que possa otimizar essa função. Nesse grupo de métodos qualquer decisor procura, consciente ou inconscientemente, maximizar uma função de utilidade ou minimizar uma função de custo.

A otimização consiste na sintetização de diferentes atributos, de maneira a agregá-los em um único valor, compondo uma representação matemática da estrutura de preferência do decisor, incorporando a maneira de agir do mesmo em situações de incerteza. Esse tipo de metodologia permite o ordenamento das alternativas conforme a preferência, mas não permitem a avaliação de incomparabilidade ou da indiferença entre alternativas.

São métodos incluídos nessa abordagem: o Método dos Pesos; o Método das Restrições; o

Método Multiobjetivo Linear e o método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) e ANP (*Analytic Network Process*). O método Programação de Compromisso também é incluído por Harada (1999) nessa categoria, apesar de o mesmo possuir pontos comuns com métodos de outros grupos. O método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) proposto como uma evolução da Programação de Compromisso, também pode ser classificado nesse mesmo grupo.

Métodos seletivos

Essa categoria de métodos procura estabelecer comparações entre alternativas, duas a duas, por meio do estabelecimento de uma relação de preferências ditadas pelos agentes decisores, chamada de relação de seleção. A relação binária permite a incorporação de conceitos tais como indiferença e incomparabilidade, que permite uma avaliação mais apropriada do problema em algumas situações, mas pode não permitir o ordenamento completo das alternativas em relação à preferência. Esses métodos são propostos para um grupo finito de alternativas, podendo ser aplicados a casos de infinitas alternativas.

Os métodos mais conhecidos inseridos nessa categoria são os métodos da família ELECTRE e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*).

Métodos interativos

Essa família de métodos se baseia na alternância de etapas computacionais com etapas de debate de modo a se obter novas informações sobre as preferências dos decisores. Dessa forma as preferências são discutidas ao longo de todo o processo decisório, partindo-se do pressuposto que o decisor não tem estabelecido, *a priori*, o seu sistema de preferência. Nessa família de métodos os decisores participam do processo não somente na definição do problema, mas também, durante os procedimentos e na elaboração da solução.

Estão inseridos nessa categoria de métodos o Método do Valor Substituto de Troca e o Método dos Passos.

4.1.4 - Estudo de Impactos

A avaliação de impactos é uma metodologia que avalia os efeitos de uma intervenção sobre o meio ambiente. Essa avaliação é conduzida *a posteriori*, após a finalização de um projeto,

diante dos seus evidentes impactos. Ela tenta cobrir diferentes aspectos tais como, aspectos técnicos, sócio-culturais, econômicos, institucionais e ecológicos.

O desenvolvimento dessa metodologia apresenta uma série de preocupações no que diz respeito aos efeitos do projeto em questão sobre os grupos alvo e sobre o meio ambiente.

4.1.5 - Indicadores para a comparação de arranjos alternativos

Segundo OECD (2003), indicadores ambientais podem ser definidos como um parâmetro, ou um valor derivado de parâmetros que fornecem informações sobre algo ou descrevem o estado de um fenômeno, um ambiente ou uma área, cujas informações possuem um significado que se estende além do valor do parâmetro em si. Já para Gallopin (1997), indicadores são variáveis que resumem ou simplificam um conjunto de informações a respeito de um fenômeno, de modo que o mesmo seja perceptível, quantificável e mensurável. Eles procuram medir o comportamento e transmitir o progresso do ambiente em direção ao desenvolvimento sustentável. A relevância de um grupo de indicadores está na importância atribuída ao mesmo pelos decisores e pelo público alvo.

Dentre as funções dos indicadores, OECD (2003) e Gallopin (1997) destacam:

- Reduzir o número de medidas e parâmetros necessários para se ter uma noção de determinada situação;
- Simplificar o processo de comunicação aos usuários;
- Avaliar condições e tendências locais;
- Comparar lugares e condições;
- Avaliar condições e tendências em relação a objetivos formulados;
- Antecipar condições e tendências futuras.

Os indicadores podem ser variáveis independentes ou variáveis que são função de outras variáveis, cujos valores podem ser observados, calculados ou medidos diretamente na fonte. Em muitos casos os indicadores são derivados de dados processados e analisados de modo a se obter os valores de variáveis agregadas (Gallopin, 1997). A agregação de informações associadas a indicadores de distintas naturezas e significâncias traduzindo-os em um único valor representativo de uma situação real é conhecida como *índice*. Os índices têm o objetivo de refletir o efeito conjunto de um grupo de indicadores, permitindo assim comparações no

tempo e no espaço (De Bonis, 2006 *apud* Zonensein, 2007).

4.1.5.1 - Características dos indicadores

Em princípio, um indicador pode ser tanto uma variável qualitativa (nominal) quanto uma variável de classificação (ordinal), ou uma variável quantitativa. A maior parte das definições de indicadores exclui a possibilidade de indicadores qualitativos, no entanto, os indicadores qualitativos podem ser preferíveis aos indicadores quantitativos em pelo menos três casos: quando a informação quantitativa não está disponível; quando o atributo de interesse é não-quantificável; e quando as considerações de custo de obtenção das informações quantitativas são impraticáveis. Em alguns casos a avaliação quantitativa pode ser traduzida em notação qualitativa.

Os problemas complexos, tais como aqueles associados ao desenvolvimento sustentável, requerem soluções integradas. As ligações existentes podem ocorrer entre variáveis de um mesmo sistema ou entre diferentes subsistemas (ex. economia e meio ambiente) ou entre sistemas e subsistemas de um mesmo nível hierárquico. Assim, na etapa de definição dos indicadores, deve-se buscar a concepção de um “modelo” que estabeleça conjuntos de indicadores a partir das relações de afinidade assumidas entre os mesmos, tomando como base, o sistema original.

Basicamente, indicadores são usados em diferentes níveis, como suporte e aperfeiçoamento de políticas e tomadas de decisão. Particularmente, eles são aplicáveis na execução de políticas nacionais e internacionais, em diferentes fases do processo decisório, nas quais diferentes indicadores podem ser utilizados de diferentes formas em cada fase. Na análise de tendências e condições futuras, a maior parte das análises tem o interesse de verificar as mudanças no tempo, mas os indicadores utilizados nesses casos têm, ainda, o espaço ou a população como variável ao invés do tempo.

Segundo Gallopin (1997), o termo “valor” possui dois significados relevantes no que diz respeito aos indicadores. O primeiro descreve o seu conceito como utilidade e importância relativa, associada ao julgamento dado pelo analista. O segundo refere-se, essencialmente, ao estado de uma variável no contexto geral do sistema, podendo ser uma quantidade numérica ou não-numérica, alocada por meio de observações, medidas, cálculos ou inferências.

Um requisito importante e freqüentemente negligenciado para a utilidade e aceitação de indicadores é o entendimento do que seja essa ferramenta e da sua real função no processo de tomada de decisão. Os indicadores são meios de comunicação, e como qualquer forma de comunicação requer seu entendimento pelos participantes do diálogo no processo de tomada de decisão em direção ao desenvolvimento sustentável. Esses elementos devem ser claros e os usuários devem estar habilitados a compreender o seu sentido assim como sua significância em termos de valores. Os indicadores podem ser utilizados em diferentes escalas espaciais, da local à global.

De um ponto de vista prático, são desejáveis, as seguintes propriedades:

- Os valores dos indicadores devem ser mensuráveis, ou pelo menos observáveis;
- Os dados para construção dos indicadores devem estar disponíveis;
- A metodologia para coleta, processamento e construção dos indicadores deve ser clara;
- Os recursos para a construção e monitoramento dos indicadores devem estar disponíveis, incluindo os recursos financeiros, humanos e de capacitação técnica;
- Os indicadores ou conjunto de indicadores devem ser obtidos a custos razoáveis;
- Os indicadores devem ser compatíveis com seu nível de aplicação (local, nacional, internacional);
- É desejável a participação e o suporte público na utilização dos indicadores (Gallopín, 1997).

4.1.5.2 - Critérios para a seleção de indicadores

De acordo com OECD (2003), alguns critérios devem ser observados quando da formulação e seleção de indicadores. Com relação à relevância política e utilidade para os usuários, os indicadores devem: fornecer um panorama representativo das condições ambientais e respostas sociais; ser simples, fáceis de interpretar e capazes de mostrar a tendência da sua evolução no tempo; serem flexíveis às mudanças no ambiente e às atividades humanas relacionadas a ele; terem aplicabilidade nas questões ambientais regionais de interesse nacional; terem um princípio ou valor de referência para permitir a comparação, de modo que os usuários possam avaliar a significância dos valores associados.

Com relação à segurança analítica, os indicadores devem ser bem fundamentados em termos técnicos e científicos, se basearem em padrões internacionais e consenso internacional sobre

sua validade, e proporcionar a sua ligação com modelos econômicos, sistemas de previsão e informação.

Além dos requisitos acima citados, uma análise crítica da pertinência e da qualidade dos indicadores consiste em examinar cada indicador à luz de diferentes critérios (Labouze e Labouze, 1995 *apud* Barraud, 2001):

- Acessibilidade - capacidade do indicador de ser calculado rapidamente a custos aceitáveis;
- Pertinência - capacidade do indicador em refletir e guardar no tempo a significação de um conceito;
- Fidelidade - conservação ao fim da avaliação de uma tendência constante;
- Objetividade - aptidão de serem avaliados sem ambigüidade a partir de dados observáveis ou transparentes;
- Precisão/robustez - impactos das incertezas sobre as prescrições;
- Sensibilidade - aptidão para discriminar; e
- Univocidade - aptidão a dar uma avaliação unívoca.

4.1.6 - Ciclo de tomada de decisão e o uso de indicadores

Os processos de concepção dos sistemas de drenagem urbana e controle de inundações passam por duas fases distintas: eliminação e decisão. Na primeira fase ocorre a exclusão de determinadas técnicas por restrições físicas. Na segunda fase, o processo é desenvolvido em três etapas: a elaboração de cenários, a identificação dos arranjos satisfatórios e insatisfatórios e o uso de critérios e metodologias julgados pertinentes pelo decisor (Baptista, 2004).

Moldan (1997) define o processo de tomada de decisão composto pelas etapas mostradas na Figura 4.1. O sistema descrito prevê a retroalimentação do processo no qual, após a avaliação, são feitos ajustes para garantir sua sustentabilidade.

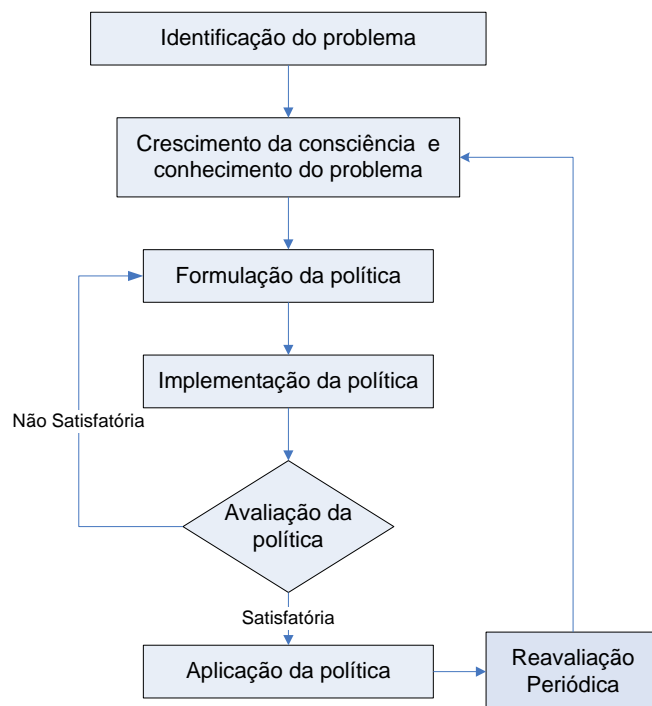


Figura 4.1 - Ciclo de tomada de decisão (adaptado de Moldan, 1997)

4.1.6.1 - Identificação do problema

O primeiro passo para se tomar uma decisão é definir um fenômeno como um problema. Segundo Castro (2002), a maior parte dos problemas que envolvem os recursos hídricos não são possíveis de serem observados ou entendidos diretamente, fazendo com que sua identificação se torne, muitas vezes, complexa. Muitos desses problemas levam anos para serem reconhecidos pela comunidade científica e é nesse estágio que começa o desenvolvimento dos indicadores.

4.1.6.2 - Crescimento da consciência pública e conhecimento do problema

Nessa etapa do processo de tomada da decisão, a participação pública é essencial, assim como o tratamento entre algumas questões ambientais. No planejamento de áreas urbanas, assim como em questões ambientais e do desenvolvimento sustentável, a conexão entre os sistemas públicos que atendem a população mostra que os mesmos não podem ser abordados de forma isolada. Nesse sentido, é fundamental o papel da informação na formulação dos indicadores, dependendo dela, o sucesso dos indicadores propostos.

4.1.6.3 - Etapa de formulação

A formulação de planos e políticas está diretamente ligada à necessidade de se estabelecer alvos quantitativos, ou pelo menos, à identificação de objetivos qualitativos. Essa etapa do processo de tomada de decisão consiste no diálogo entre o corpo de decisores (usualmente o governo) e a parte do público afetada, de alguma forma, pela proposta. Nessa etapa, a introdução de indicadores apropriados é essencial ao diálogo entre as partes. O tratamento dos problemas pode se tornar algo difícil, compreendendo várias opções de políticas e utilizando um amplo leque de informações, fazendo com que a avaliação adequada das opções envolva cálculos complexos e a utilização de modelos. No entanto, espera-se que o resultado dessas análises seja a obtenção de indicadores simples e de fácil entendimento.

4.1.6.4 - Etapa de implementação

Os indicadores têm um papel crucial, também, na etapa de implementação dos planos e políticas. A implementação é função dos setores governamentais em todos os seus níveis de aplicação (local, regional, nacional e internacional), no entanto, para o seu sucesso, é fundamental o suporte público. A visão clara dos alvos alcançados e a avaliação incessante do progresso do processo são componentes importantes para a adoção dos planos.

A etapa de implementação requer determinação, resistência e ainda, paciência e um certo grau de flexibilidade, uma vez que a situação pode se modificar ao longo do tempo necessitando de correções ainda nesta fase. Essas alterações podem ocorrer tanto para os alvos quantitativos quanto na natureza qualitativa dos indicadores.

4.1.6.5 - Etapa de avaliação

A etapa de avaliação tem dois objetivos. O primeiro objetivo é o de verificar se os planos ou políticas formuladas foram de fato executadas e se os objetivos foram alcançados.

O segundo objetivo procura verificar se o problema original foi solucionado e se a situação atual está sob controle. Para tanto, é necessário avaliar se as proposições iniciais estavam corretas e se o sistema projetado foi eficaz, tomando sempre os indicadores como parâmetro de comparação (Moldan, 1997 e Castro, 2002).

Ao final desta etapa o ciclo estará completo e se os resultados forem satisfatórios o processo

termina pela aplicação da política, caso contrário, o ciclo de tomada de decisão é recomeçado pela etapa de formulação da política.

4.1.7 - O uso de indicadores na análise de sistemas de drenagem urbana com múltiplos critérios

Indicadores tem sido uma importante ferramenta para apontar o desempenho de diferentes sistemas que interagem com a sociedade. É comum o uso de indicadores para avaliar o comportamento de medidas aplicadas aos setores sociais e de saúde. Essa ferramenta, pelas suas características, dinamismo e robustez, pode ser aplicada a outros setores que atendem a população em área urbana, tais como a drenagem de águas pluviais e o controle de inundações. No contexto da drenagem urbana e controle de inundações a utilização de indicadores ainda é bastante pequena. Com o intuito de ilustrar a utilização de indicadores, o texto a seguir apresenta alguns estudos enfatizando o uso dessa ferramenta em sistemas de drenagem urbana.

Kondratyev *et al.* (2002) apresentaram um estudo cujo objetivo foi o de avaliar a situação atual do lago Ladoga, responsável pelo abastecimento da cidade de São Petesburgo na Rússia, e sua rede de drenagem, locada parte na Finlândia e parte na Rússia, em virtude das mudanças ocorridas na última década. Para a avaliação foram utilizados os indicadores propostos pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CSD) da ONU (Organização das Nações Unidas). Os indicadores utilizados retrataram os aspectos que representam as atividades humanas, o estado do desenvolvimento sustentável na região, as opiniões políticas e outras respostas para as alterações de estado do desenvolvimento sustentável como uma avaliação da efetividade dos alvos. Foram adicionados aos anteriores, indicadores ligados ao nível de cargas poluidoras externas e críticas, parâmetros de qualidade da água, de concentrações críticas de elementos químicos, indicadores de estado do ecossistema aquático e indicadores de propriedades geoquímicas dos sedimentos.

Ao final do estudo concluiu-se que o lago Latoga está boas condições, mas os resultados mostraram a necessidade urgente de indicadores que reflitam o estado do ecossistema e dos sedimentos de fundo, a dependência da acurácia dos resultados da qualidade, e adequação dos sistemas de monitoramento dos corpos d'água.

O estudo apresentado por Barrera-Roldán e Saldívar-Valdés (2002) teve como objetivo apresentar a metodologia para a construção do Índice de Desenvolvimento Sustentável que constou da proposição de vinte e um indicadores representando os sistemas social, natural e de produção (econômico). Foram utilizados indicadores quantitativos e qualitativos com uma escala adimensional variando de 0 a 1, na qual o valor 0 representava os piores resultados em termos de desenvolvimento sustentável e o valor 1 os melhores resultados. Os indicadores apresentados foram agregados por método multicritério resultando em um indicador global também variando de 0 a 1.

A metodologia foi aplicada à bacia hidrográfica do rio Coatzacoalcos no México e os resultados obtidos mostraram a situação ambiental nas comunidades urbanas e semi-urbanas da bacia assim como a situação sócio-econômica da população na área estudada. O uso da metodologia auxiliou, ainda, na identificação dos principais problemas da região e na melhoria do desenvolvimento das comunidades da área em estudo.

O estudo apresentado por Baptista *et al.* (2001) teve como objetivo apresentar a constituição de uma base de dados e sua utilização, a fim de avaliar e comparar a escolha de técnicas compensatórias adaptadas a parcelas urbanas, à luz de diferentes critérios. A base de dados determinada permite a construção de diferentes indicadores de desempenho dos aspectos ambientais, técnicos e econômicos aplicados à drenagem urbana e controle de inundações. A base de dados foi composta de diferentes tipos de pequenas obras com diferentes tipos de utilização, que ao final, totalizaram 167 casos distribuídos por três regiões metropolitanas francesas.

Para elaboração dos indicadores econômicos foram levantados os custos de inserção e manutenção dos diferentes dispositivos inseridos nas áreas e em seguida foi avaliado o desempenho de vários cenários com a aplicação do método custo-eficiência. Ao final do estudo foi possível concluir que a base de dados integra informações econômicas, técnicas e descreve o grau de satisfação em relação ao funcionamento, integração social e ambiental. Foi observado, ainda, que os dados relativos aos custos de investimento e manutenção, muitas vezes são ausentes ou parciais, e quando os mesmos existem, eles se apresentam com natureza diversa. A análise dos resultados mostrou que o volume de armazenamento é um bom indicador tanto para os custos de investimento quanto para os custos de manutenção, e que,

em termos econômicos, o controle na fonte é preferível ao controle centralizado e às soluções tradicionais.

Revitt *et al.* (2003) identificaram sete categorias de critérios para avaliação do comportamento de BMPs em drenagem urbana, abordando as características locais, aspectos técnicos e científicos, operação e manutenção, aspectos ambientais, benefícios sociais e urbanos à comunidade, econômicos e planejamento legal e urbano. Os autores identificaram indicadores primários e secundários e o seu nível de referência, definindo-os como o valor ou condição limite (quantitativa ou qualitativa), para uma avaliação que pode compreender um ponto de referência para o tomador de decisão.

Kolsky e Butler (2002) apresentaram um estudo no qual os autores descrevem os aspectos conceituais e práticos do desenvolvimento de indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana baseado na experiência dos mesmos em países em desenvolvimento, mais especificamente na Índia. Dentro dessa análise os autores dividiram os possíveis indicadores em três tipologias conforme mostrado na Tabela 4.1 cuja significância pode ser estendida inclusive a países desenvolvidos.

Tabela 4.1-Tipologias de indicadores e medidas apresentadas por Kolsky e Butler (2002)

Tipo de Indicador	Exemplos de Possíveis indicadores	Vantagens	Desvantagens
Medidas de desempenho	<ul style="list-style-type: none"> • Profundidade • Área • Duração da Inundação 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas diretas obtendo o resultado que o decisor precisa saber 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade para medir • Avaliação sazonal • Não há ligação clara com as decisões a serem tomadas
Indicadores de desempenho	<ul style="list-style-type: none"> • Nível de sólidos • Capacidade de escoamento das estruturas • Nível de Bloqueio dos escoamentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente fáceis de medir • Ligação mais direta com a ação a ser tomada que as medidas de desempenho 	<ul style="list-style-type: none"> • Relações não claras com os resultados que o decisor precisa • Mede os sintomas, mas não a causa do problema.
Indicadores de processo	<ul style="list-style-type: none"> • Frequência de limpeza das ruas • Tempo dos profissionais gasto nas operações • Orçamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente fáceis e práticas • Podem se tornar rotina • Ligação mais clara com as ações a serem tomadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Relações não claras com os resultados que o decisor precisa

Geerse e Lobbrecht (2002) apresentaram um estudo no qual pretendeu-se avaliar o desempenho do sistema de saneamento e drenagem na cidade de Rotterdam na Holanda. O desempenho de uma estação automática de controle foi determinado por meio de um índice de

desempenho composto por indicadores analisados em duas situações de referência: período de estiagem e período chuvoso. Para o período chuvoso foram analisados os seguintes aspectos:

- Prevenção de enchentes: saúde e segurança da população, redução de perdas materiais devido às inundações;
- Ecologia, natureza e recreação: redução da poluição das águas superficiais em canais, lagoas e principais rios; e
- Gestão de sistemas de água: redução dos custos de operação, da sedimentação nas galerias e dos problemas com odor.

Os indicadores utilizados para análise do período de estiagem foram relacionados à operação do sistema tratamento de esgoto no que diz respeito ao processo de descarga (nível da água, descarga), consumo de energia e frequência de troca de bombas.

Os resultados mostraram a eficiência do método na determinação do desempenho do controle no sistema de drenagem urbana e a identificação de pontos que necessitam de melhorias.

O projeto ADSS (*Adaptive Decision Support System*), inserido no projeto *Daywater*, tem o objetivo de auxiliar o processo de tomada de decisão sobre a implementação de medidas de controle clássicas e de controle na fonte para a solução dos problemas com as águas pluviais urbanas. O sistema ADSS está dividido em blocos compostos da definição do problema, a construção de cenários e a composição de alternativas de solução. Indicadores são utilizados nas etapas de definição do problema, avaliação dos riscos e na composição das alternativas de solução com a incorporação das medidas de controle. Os indicadores propostos incorporam, além dos aspectos técnicos, questões sociais, financeiras, legais e organizacionais. A análise das alternativas é feita por métodos multicritério apresentando como resultado, a hierarquização das alternativas (Föster *et al.*, 2004 e Daywater, 2004).

Dechesne *et al.* (2004) apresentaram uma lista de dezessete indicadores para avaliar o desempenho de bacias de infiltração em relação ao seu desempenho hidráulico e a capacidade de retenção de poluentes. O grupo de indicadores foi testado em cinco bacias de infiltração na área suburbana de Lyon – França. Os indicadores de contexto avaliaram o estado do sistema, e para análise do desempenho hidráulico foram propostos indicadores que avaliaram as bacias de infiltração nos aspectos de colmatção, duração da infiltração, frequência de

transbordamento e período de operação projetado. O desempenho na retenção de poluentes foi medido por indicadores do tipo: nível de poluentes encontrados no solo da bacia, eficiência de retenção de poluentes e eficiência de infiltração de partículas. Os resultados mostraram que, sob condições operacionais do comportamento das bacias, os indicadores são representativos e confiáveis, excetuando-se os indicadores de desempenho na retenção de poluentes. Mesmo reconhecida a relevância dos mesmos, a avaliação é dificultada pela qualidade dos dados disponíveis.

O estudo desenvolvido por Batista *et al.* (2005) buscou a elaboração de um indicador de performance de drenagem urbana como um subcomponente de um indicador de salubridade ambiental. O indicador proposto foi concebido a partir de características relacionadas à qualidade da drenagem urbana em função dos aspectos da ocorrência de enchentes, alagamentos e a existência de defeitos nas vias da área analisada considerando, para o cálculo dos indicadores, as condições de ruas dos setores censitários dos bairros estudados. Como resultados foram obtidos mapas temáticos identificando as condições precárias de drenagem de alguns bairros do município de João Pessoa - PB.

De Bonis *et al.* (2005) buscaram o estabelecimento de um índice de drenagem urbana que foi o resultado da composição de vários indicadores. O objetivo do estudo foi identificar a situação da drenagem local para buscar situações de risco, monitorar tendências, avaliar, identificar e comparar situações de drenagem de águas pluviais em diferentes locais. Os parâmetros adotados (densidade de drenagem, densidade populacional, cota de inundação, percentual de logradouros com problemas de inundações, valor do IPTU, volume/fluxo de tráfego, casos de doenças de veiculação hídrica, taxa de impermeabilização, área da mancha de inundação), e seus respectivos pesos se basearam em pesquisas junto a especialistas da área de drenagem urbana. O índice proposto foi utilizado em um estudo de caso no município do Rio de Janeiro – RJ, tendo sido possível concluir positivamente a respeito da representatividade do índice em informar as condições reais da área analisada e a aplicabilidade da ferramenta no processo de tomada de decisões.

Martin *et al.* (2006) apresentaram uma metodologia para a avaliação do desempenho de técnicas compensatórias baseada em seis critérios abordando os aspectos de capacidade técnica e hidráulica, impactos ambientais, percepção social, econômicos e manutenção. A

avaliação foi conduzida por uma apreciação qualitativa dos aspectos citados anteriormente com as seguintes designações: de forma alguma, geralmente não, até certo ponto e completamente. As respostas colocadas para questões foram do tipo: diminui o risco de inundação?; preserva a qualidade da água?; pode ser integrada a políticas de planejamento existentes?

Os indicadores foram aplicados em entrevistas a órgãos governamentais e privados responsáveis pela gestão de sistemas de drenagem na França, incluindo a população, e agregados por análise multicritério pelo método ELECTRE III. O resultado foi a classificação das técnicas de drenagem investigadas segundo os interesses dos órgãos consultados.

Castro (2002) desenvolveu um estudo cujo objetivo foi a proposição de indicadores e uma metodologia de análise multicritério para o auxílio à decisão na escolha de técnicas a serem utilizadas nos sistemas de drenagem urbana. Os critérios para a análise das alternativas definidos pelo autor foram o objetivo, os impactos da obra e sua inserção. A partir desses critérios foram definidos treze indicadores incorporando os aspectos hidrológicos, sanitários, de qualidade das águas, ambientais e sociais. A análise de importância dos indicadores foi feita por meio de pesos atribuídos aos mesmos por especialistas de diferentes setores ligados à área de drenagem urbana. A metodologia foi aplicada a três estudos de caso e, para análise e ordenação das alternativas foram utilizados dois métodos multicritério: o método de Programação de Compromisso e o método ELECTRE III.

Os resultados do estudo mostraram a utilidade dos indicadores como ferramenta no auxílio à tomada de decisão. Os indicadores de impacto na qualidade das águas e de inserção ambiental cumpriram o seu papel pelo objetivo proposto, mas evidenciaram a dificuldade em se encontrar estudos que dessem subsídios numéricos para a comparação de alternativas. As variações apresentadas nos pesos não tiveram influência significativa no ordenamento das alternativas nas primeiras e nas últimas colocações. Com relação ao método de análise multicritério, a escolha não foi um fator essencial na ordenação das alternativas, uma vez que não foram observadas variações entre as primeiras e últimas colocações apresentadas nos resultados dos dois métodos.

O estudo desenvolvido por Moura (2004) agregou os indicadores propostos por Castro (2002)

e definiu indicadores econômico-financeiros para avaliação *a priori* de sistemas de drenagem urbana de modo a subsidiar o estabelecimento de um sistema multicritério de auxílio à decisão. Os indicadores foram agregados pelo método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) de agregação e foram denominados indicadores de desempenho. O indicador de custos incluiu os custos de implantação, manutenção e operação dos sistemas de drenagem. A metodologia de avaliação consistiu de uma avaliação do tipo desempenho-custo.

Os resultados apresentados pela autora destacam as dificuldades em se obter o indicador de custos uma vez que a utilização de técnicas compensatórias no Brasil, ainda é pequena. Para os custos de manutenção não existem dados brasileiros, com exceção daqueles relacionados à remoção de resíduos em bacias de detenção. Mesmo com todas as dificuldades, o indicador de custos reflete bem os impactos dos custos na análise para a escolha de cenários com a incorporação de técnicas compensatórias na drenagem urbana. A metodologia proposta não permitiu a ordenação de cenários, o que permitiu ao decisor, na tomada de decisão final, preconizar o aspecto custo ou o aspecto desempenho. Em todos os estudos de caso, os cenários que incluíam as técnicas compensatórias foram mais bem classificados.

O estudo de Brito (2006), semelhantemente aos dois estudos anteriores, buscou uma metodologia para a seleção de alternativas de sistemas de drenagem urbana baseada em critérios hidráulicos, hidrológicos, econômicos, sociais entre outros. Neste estudo a autora formulou seis critérios e dez indicadores relacionados a esses critérios para a comparação das alternativas. Essa comparação foi feita pelo método multicritério de Programação de Compromisso, não tendo sido adotada nessa etapa, a consulta a especialistas para determinação dos pesos dos critérios. Segundo os indicadores propostos, os resultados após análise, demonstraram a preferência das soluções que integravam técnicas compensatórias. Os resultados apresentaram a hierarquização das alternativas para um estudo de caso, e no que diz respeito à atribuição de pesos, a comparação dos resultados deste estudo com os dois anteriores, se mostrou equivalente, evidenciando a eficiência e a robustez dos indicadores como ferramenta no processo de tomada de decisão.

Zonensein (2007) desenvolveu um procedimento de análise capaz de quantificar o risco de cheia e indicar soluções para alguns dos seus impactos, tomando como base um Índice de

Risco de Cheia (IRC) com valor variando de 0 a 100. O índice proposto utilizou dois sub-índices abordando as propriedades das inundações e as conseqüências destas por meio de sete indicadores. O procedimento proposto consistiu de uma ferramenta de suporte à decisão para a comparação de zonas críticas e de propostas de solução, tendo sido aplicada à bacia hidrográfica do rio Joana – RJ. A ferramenta proposta utilizou técnicas de geoprocessamento e os resultados se mostraram satisfatórios.

Castro (2007) propôs uma metodologia para avaliar a sustentabilidade de empreendimentos de desenvolvimento urbano, no que tange às alterações que os mesmos provocam nos corpos de água na sua área de influência, e a viabilidade de sua aplicação para subsidiar a decisão dos órgãos gestores quanto à concessão da autorização. A metodologia, baseada em indicadores agregados por análise multicritério pelos métodos TOPSIS e Electre TRI, buscou traduzir os efeitos mais relevantes da urbanização.

A validação e consolidação da metodologia foi realizada pela análise de estudos de caso, pela comparação com os sistemas atualmente aplicados, por consulta a especialistas, por análises de sensibilidade e robustez, pela comparação com resultados de outros trabalhos acadêmicos e outras metodologias para a avaliação de alternativas de projeto. Os resultados mostraram a adequação da ferramenta desenvolvida em virtude da abrangência e facilidade na determinação dos indicadores propostos, e a aplicabilidade do procedimento multicriterial pelos órgãos gestores na análise e decisão quanto à autorização de empreendimentos a serem implantados.

Cardoso (2008) e Cardoso e Baptista (2008) apresentaram um estudo cujo objetivo foi o desenvolvimento de uma metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos d'água urbanos, com base em 12 indicadores integrando aspectos hidrológicos/ hidráulicos, ambientais, sanitários e sociais. Os indicadores com escala de variação de -2 a +2 foram aplicados a três estudos de caso na região metropolitana de Belo Horizonte-MG. A comparação entre as alternativas foi feita mediante um índice de desempenho correspondente à soma das pontuações obtidas por cada alternativa e seus respectivos custos. Os resultados mostraram que a metodologia é simples de ser aplicada e se mostrou útil aos decisores na fase inicial de projeto.

Moura (2008) apresentou um estudo cujo objetivo foi o desenvolvimento de uma abordagem multicritério para quantificar o desempenho de sistemas de infiltração utilizados para a gestão das águas de escoamento urbano. A metodologia desenvolvida utilizou dois jogos de indicadores. O primeiro com o objetivo de auxiliar na decisão sobre a escolha de estratégias de infiltração na fase de concepção, e o segundo, para o acompanhamento de sistemas existentes. Os indicadores utilizados em ambas as fases abordaram os aspectos técnicos, ambientais, sanitários, econômicos e sociais. O método multicritério utilizado para a análise de desempenho dos indicadores na fase de concepção foi o método ELECTRE III, e para a fase de acompanhamento foi utilizado o método ELECTRE TRI. Os dois métodos aplicados se mostraram pouco sensíveis e robustos.

O estudo apresentado por Figueiredo Júnior *et al.* (2008) teve como objetivo a proposição de uma sistemática de avaliação global de empreendimentos de desenvolvimento urbano à luz de critérios relativos a impactos sobre os sistemas de águas urbanas, baseada no método multicriterial ANP (*Analytic Network Process*). Para atender a esse objetivo foi construído um modelo de avaliação intitulado *AUrb/ANP* em planilha eletrônica Excel e feita a análise e seleção de indicadores relativos a águas urbanas constantes do projeto SWITCH (*Sustainable Water management Improves Tomorrow's Cities' Health - Gestão Sustentável das Águas para a Saúde das Cidades do Futuro*). Foi estabelecida uma sistemática de avaliação em cinco fases que abordam desde a caracterização do empreendimento até a análise dos resultados. A metodologia foi aplicada ao estudo de caso do centro administrativo de Minas Gerais apontando os pontos mais críticos do projeto e sugerindo alterações. Os resultados mostraram que a sistemática de avaliação aplicada com o uso do modelo *AUrb/ANP* foi considerada eficiente, mostrando-se viável e compreensível para uso em procedimentos correntes, permitindo verificar a eficiência de um projeto com relação às águas urbanas e fornecendo recomendações para sua melhoria

4.2 - MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA APLICADA

A modelagem matemática tem-se mostrado, ao longo do tempo, uma importante ferramenta para a antecipação dos efeitos das precipitações sobre as localidades. A delimitação de áreas sujeitas a inundação consiste na reprodução por cálculos, das cotas e da extensão de inundações conhecidas (Dégardin e Gaide, 1999 e Garry *et al.*, 1999). O objetivo deste tópico é o de fornecer uma visão geral sobre os modelos aplicados à gestão de recursos hídricos

urbanos com ênfase àqueles aplicados ao controle de inundações.

4.2.1 – Conceitos básicos

A escolha de um modelo para análise do comportamento de uma bacia hidrográfica e o monitoramento dos impactos das modificações que ocorrem no tempo está sujeita, principalmente, aos objetivos do estudo, à disponibilidade de informações e à familiaridade do usuário com o modelo. De acordo com estas afirmações, vários são os modelos disponíveis na área de recursos hídricos.

Segundo Tucci (1998), os modelos hidrológicos podem ser contínuos ou discretos conforme o intervalo em que ocorrem as mudanças hidrológicas. Os modelos são ditos contínuos quando os fenômenos são modelados continuamente no tempo e são ditos discretos quando as mudanças de estado se dão em intervalos discretos. Assim como todos os demais sistemas físicos, os sistemas hidrológicos são contínuos e normalmente são representados por modelos discretos.

Quanto à discretização, os modelos podem ser concentrados (*lumped*) ou distribuídos. Os modelos concentrados não levam em conta a variabilidade espacial, utilizam somente o tempo como variável independente. Nesse caso toda a bacia é representada por uma precipitação média e os processos hidrológicos por variáveis concentradas no espaço. Esses modelos são usados, geralmente, para bacias pequenas onde a distribuição espacial dos parâmetros e das variáveis não compromete os resultados para o estudo desejado. Nos modelos distribuídos as variáveis e parâmetros dependem do espaço e/ou do tempo, podendo ser divididos, ainda, em distribuídos por sub-bacias ou por módulos.

O modelo distribuído por sub-bacias permite a subdivisão da bacia em sub-bacias de acordo com a drenagem principal da mesma. A subdivisão é feita de acordo com a disponibilidade de dados, locais de interesse e variabilidade de parâmetros físicos. No modelo distribuído por módulos a discretização é feita por formas geométricas tais como quadrados, retângulos, sem relação direta com a forma da bacia, mas caracterizando internamente os componentes dos processos. O modelo de discretização em módulos busca um detalhamento maior que o modelo distribuído por sub-bacias. O inconveniente desse tipo de modelo é o elevado número de módulos quando se trata de grandes bacias, o que pode dificultar o entendimento por parte

do usuário da integração dos processos e o ajuste dos parâmetros.

Os modelos concentrados e distribuídos por sub-bacias são aplicáveis a bacias hidrográficas médias e grandes. Nesses casos os modelos são modulados e conceituados como distribuídos, mas trabalham de forma concentrada em cada módulo. Modelos distribuídos são utilizados em pequenas bacias rurais, na análise do efeito de alteração do uso do solo e no entendimento integrado de processos hidrológicos.

Quanto à conceitualização, os modelos podem ser empíricos, conceituais ou fisicamente fundamentados. Os modelos empíricos são aqueles que ajustam os valores calculados aos dados observados utilizando funções sem relação com os processos físicos na bacia. São utilizados para relacionar a precipitação com a vazão.

Os modelos conceituais são aqueles em que as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos. Usam a equação da continuidade associada a uma ou mais equações empíricas que relacionam variáveis e parâmetros dos processos. Esses modelos representam os efeitos de armazenamento e introduzem equações empíricas para representar os processos dinâmicos.

Os modelos fisicamente fundamentados utilizam as equações da continuidade e a dinâmica dos processos envolvidos na busca da integralização da descrição de todos os processos físicos que ocorrem na bacia. Esses modelos apresentam dificuldades no que diz respeito à variabilidade das características físicas e dos processos.

Quanto aos objetivos, os modelos simulam condições estacionárias na bacia com o objetivo de obter um bom ajuste no hidrograma de saída. Há, ainda, os modelos que simulam alterações e o comportamento de processos hidrológicos na bacia hidrográfica, buscando o conhecimento distribuído de fenômenos nesta. Nos primeiros não há interesse em resultados parciais dentro da bacia ou mesmo de outras variáveis. São aplicados na extensão de séries para dimensionamento de reservatórios, previsão em tempo real e determinação de vazão máxima ou hidrograma de projeto. Os últimos têm aplicações do tipo de simulações das alterações do escoamento devido ao desmatamento, urbanização, construções de obras hidráulicas, simulação do comportamento da bacia devido ao uso rural em conjunto com

modelos de sedimentos e químicos na estimativa da poluição difusa.

Modelos de comportamento são utilizados para prognosticar a resposta de um sistema sujeito a diferentes entradas ou devido a modificações nas suas características. Os modelos de otimização são focados na busca de melhores soluções em nível de projeto de um sistema específico.

Modelos de planejamento simulam as condições globais de um sistema maior. Envolvem uma região ou uma bacia e buscam não somente a solução meramente hidráulica, hidrológica ou econômica, mas englobam também a quantificação sócio-econômica e ambiental. Esses modelos utilizam os modelos de comportamento e de otimização de diferentes áreas, buscando disciplinar as ações e investimentos (Tucci, 1998).

4.2.2 - Modelos hidrológicos

Um modelo hidrológico busca uma representação matemática dos processos que envolvem o ciclo da água na superfície ou subsuperfície, tendo, normalmente, como objeto de estudo, a bacia hidrográfica. O uso de modelos pretende a antecipação de eventos e a análise do impacto das ações do homem em relação à água na superfície. De acordo com as características e finalidades do modelo há uma resposta para o objetivo da sua utilização.

Os modelos de transformação da precipitação podem ser de simulação de evento único (*single event*) ou modelos para eventos contínuos. Os modelos de simulação de evento único são aplicados em bacias urbanas, uma vez que os mesmos simulam o processo de transformação de chuva em vazão e não fazem esforços especiais para levar em conta os outros componentes do ciclo hidrológico, já que o comportamento de uma bacia hidrográfica urbana é bastante peculiar em relação aos outros fenômenos do ciclo hidrológico em relação às bacias rurais. Os usuários desse tipo de modelo normalmente estão interessados no pico do fluxo ou no hidrograma total do escoamento, se o tempo ou volume do escoamento é necessário (Viessman Jr. e Lewis, 2002).

São modelos *single-event*, segundo USACE (2004), o modelo HEC-HMS 3.0 (*Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System*), TR-20 e TR-55 *Computer Program for Project Hydrology*, o módulo *RUNOFF* do modelo SWMM (*Storm Water Management*

Model), MIKE 11 UHM, HYMO (*Hydrological Model Computer Language*) e USGS (*Rainfall-Runoff Model*), além do modelo IPH II (Instituto de Pesquisas Hidráulicas) e do modelo ABC (Universidade de São Paulo).

4.2.3 - Modelos de propagação

A propagação de um fluxo é um procedimento matemático para previsão da mudança na magnitude, extensão e forma de uma onda de cheia em função do tempo em um ou mais pontos ao longo de um curso d'água.

Os métodos de propagação são classificados como hidrológicos e hidráulicos dependendo, respectivamente, se os métodos são baseados em equações de processos empíricos ou físicos (Viessman Jr. e Lewis, 2002). Na propagação hidrológica o fluxo é calculado como uma função do tempo em um local ao longo do curso d'água. Na propagação hidráulica o escoamento é calculado em função do tempo simultaneamente em várias seções ao longo do curso d'água (Fread, 1992).

Métodos de propagação hidrológica (*lumped*) para rios desprezam os efeitos de remanso e não tem precisão para aumento rápido dos hidrogramas propagados ao longo de rios com pouca ou nenhuma declividade. Eles também não são precisos quando se trata do aumento súbito de hidrogramas em reservatórios (Fread, 1992).

Na propagação hidráulica (*distributed*) o escoamento não-permanente em um curso d'água é descrito como um processo distribuído devido à vazão, velocidade e profundidade que variam no espaço (na seção transversal ao longo do canal). A estimativa dessas propriedades no canal pode ser obtida tomando como base as equações diferenciais completas de escoamento não-permanente unidimensional, equações de Saint Venant. Essas equações permitem que a vazão e o nível da água sejam calculados em função do espaço e do tempo ao invés de somente em função do tempo como na propagação hidrológica (Fread, 1992).

4.2.4 – Modelos hidráulicos

Segundo a definição de Chow (1959) *apud* Tucci (1998), modelos hidráulicos são aqueles que utilizam as equações de Saint-Venant. Formas simplificadas das equações de Saint-Venant, equações cinemáticas e difusivas, também podem ser utilizadas para propagação de

escoamentos distribuídos (Fread, 1992).

Os modelos de *onda cinemática* são modelos que utilizam uma simplificação das equações de Saint-Venant. Esses modelos utilizam a equação da continuidade e a equação da quantidade de movimento desprezando os termos de pressão e inércia. Devido às simplificações introduzidas, deve ser avaliada a aplicabilidade do mesmo antes de sua utilização. Esses modelos não retratam efeitos de jusante sobre o escoamento de montante, pois consideram o escoamento unidirecional. Ao considerar a declividade do fundo igual à declividade da linha de atrito na equação da quantidade de movimento, o escoamento sofre algumas simplificações: as forças de atrito e de gravidade são preponderantes sobre os demais termos da equação dinâmica; a relação entre a vazão e o nível é biunívoca; o modelo simula somente efeitos de montante não podendo ser utilizado para simular o escoamento com influência de jusante; e o amortecimento da onda simulada é devido ao armazenamento.

Se ao modelo de onda cinemática for introduzido o termo de pressão, esse modelo recebe o nome de *modelo de difusão*. O modelo de difusão tem mais aplicabilidade que o de onda cinemática, já que considera o termo de pressão. Nesse modelo, ao contrário do modelo de onda cinemática, podem ser representados os efeitos de jusante sobre o escoamento de montante. Esse modelo pode ser usado em rios e canais que sofrem efeitos de jusante e a velocidade não tem gradientes significativos.

Os *modelos hidrodinâmicos*, por sua vez, utilizam a formulação completa das equações de Saint-Venant. As soluções numéricas das equações diferenciais nesse modelo requerem maior quantidade de dados que nos modelos anteriores, mas apresentam vantagens já que estes são mais precisos que os anteriores e permitem uma melhor representação física do escoamento (Tucci, 1998).

Esses modelos podem ser aplicados na previsão em tempo real de cheias em rios, águas de irrigação transportadas por canais, mapas de inundação para planejamento de eventuais barragens, ondas criadas em reservatórios por mudanças em portões e turbinas, desmoronamento produzido por ondas em reservatórios e escoamento não-permanente em sistemas de drenagem. O processo de escoamento em cada uma dessas aplicações varia em três dimensões: a velocidade varia ao longo do canal (sentido longitudinal), no sentido

transversal e ao longo da altura do canal. A partir dessas informações, os modelos hidrodinâmicos podem ser classificados em uni, bi e tridimensionais (Fread, 1992).

Os modelos unidimensionais podem prever a extensão da cheia em uma planície de inundação com um pequeno número de canais se a sua área for incluída na seção transversal do canal e se possa ser definida a rede de fluxo (Moffat e Nichol, 2005).

Segundo USACE (2004) são modelos de escoamento permanente unidimensional os modelos HEC-RAS (*Engineering Center- River Analysis System*) 3.1, WSPRO (*Water-Surface Profile Computation Model*), FLDWY, QUICK-2, HY8. São modelos unidimensionais de escoamento não permanente os modelos HEC-RAS 3.1, SWMM 5.0, UNET 4.0, FLDWAV e MIKE 11 HD.

4.3 – GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO DAS INUNDAÇÕES URBANAS

Entende-se por geoprocessamento ao conjunto de atividades de aquisição, tratamento, interpretação e análise de dados sobre a Terra. Ele é um sistema transdisciplinar apoiado por tecnologias tais como satélites de observação da Terra, sistemas remotos aerotransportados, técnicas de coleta e de dados pelo sistema GPS (*Global Positioning System*), estações totais e medidores a laser (Timbó, 2001).

Já o termo “Sistemas de Informação Geográficas” (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos capazes de armazenar tanto atributos descritivos quanto geometrias de diferentes tipos de dados. Ao utilizar um SIG escolhe-se as representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de seu domínio de aplicação (Câmara, 2005 e Câmara e Monteiro, 2009)

São tipos de dados utilizados em geoprocessamento de acordo com Câmara e Monteiro (2009):

- Dados temáticos: descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, com dados obtidos a partir de levantamento de campo, inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir da classificação de imagens;

- Dados cadastrais: distinguem-se dos dados temáticos uma vez que cada um de seus elementos é um objeto geográfico que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Ex: lotes (elementos do espaço geográfico que possuem atributos);
- Redes: denotam informações associadas a serviços de utilidade pública tais como água, luz, telefone, redes de drenagem (bacias hidrográficas), e rodovias;
- Modelos Numéricos do Terreno (MNT): utilizados para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. São comumente associados à altimetria, mas também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas. Um MNT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y) , em um referencial qualquer, com atributos denotados de z (cota), que descrevem a variação contínua da superfície. São utilizados na geração de mapas topográficos, análises de corte e aterro para projetos de estradas e barragens, na geração de mapas de declividade, entre outras. A representação raster do MNT é chamada de MDT (Modelo Digital do Terreno);
- Imagens: são obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados, representando formas de captura indireta de informação espacial. São armazenadas como matrizes onde cada elemento de imagem denominado "pixel", tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

Os dados necessários ao planejamento de bacias hidrográficas, estendendo os mesmos para áreas de inundação, constam de dados topográficos para dar suporte aos modelos hidrológicos e hidráulicos, dados físicos locais incluindo nessa categoria as áreas edificadas, e os limites administrativos da área. Esses dados são desenvolvidos em uma grande variedade de instrumentos e a resolução necessária para os mesmos dependem das finalidades do estudo e da escala de aplicação deste. Para determinação de seções transversais de cursos de água e delimitação de áreas inundáveis é necessária uma maior acurácia dos dados para permitir a delimitação e as respectivas profundidades de submersão. Enquanto a escala de trabalho de bacias hidrográficas pode ser da ordem de 1:24000, características para planícies de inundação recomendadas utilizam escalas da ordem de 1:400. Imagens de satélite de resolução média tais quais as imagens TM (Thematic Mapper) não são adequadas para propósito de modelagem hidráulica (Johnson, 2008).

A utilização de SIG é uma ferramenta importante do trabalho com a modelagem de áreas inundáveis. A ferramenta permite a integração de vários tipos de dados, a coordenação de vários modelos matemáticos, e fornece resultados em mapas de alta resolução como suporte para as estratégias de gerenciamento de inundações. O traçado das superfícies inundáveis em SIG é feito por um conjunto de operações partindo do MNT ou MDT, e das elevações de nível da água obtidos por modelagem hidráulica. Além destas, inúmeras outras operações podem ser executadas de modo a gerar produtos direcionados aos objetivos do estudo.

Dentre os programas existentes podem ser citados: ArcGIS (ESRI), AutoCAD e AutoCAD Map 3D (Autodesk), Cadcorp, ERDAS IMAGINE (ERDAS, Inc), IDRISI (Clark Labs), Intergraph, MapInfo (Bentley Systems) e o modelo de domínio público GRASS (Geographic Resource Analysis Support Systems).

Alguns modelos hidrológicos e hidráulicos são integrados com rotinas específicas relativas à utilização de SIG. Dentre estes podem ser citados:

- O modelo HEC-RAS e o modelo HEC-HMS que trabalham no ambiente do programa ArcGIS (HEC GeoHMS e HEC GeoRAS);
- FLO-2D que possui uma interface no formato *shapefile*;
- GIS Stream Pro que desenvolve as seções transversais para o HEC-RAS baseada no modelo do terreno;
- O modelo hidrodinâmico Infoworks RS (ISIS) que trabalha no ambiente ArcView GIS;
- LISFLOOD-FP;
- MIKE 11, MIKE 21 e MIKE FLOOD;
- PCSWMM interface do SWMM com o ArcGIS;
- RiverCAD integração do HEC-RAS com o AutoCAD;
- TELEMAC-2D, 3D;
- TUFLOW
- TR-20 (“An Assesment”, 1974 *apud* Vianna, 2000) (Johnson, 2008);

De qualquer forma é consenso entre os profissionais que o melhor modelo é aquele com o qual seu usuário tiver mais sensibilidade quanto aos parâmetros e a representatividade dos processos em diferentes problemas.

4.4 – ESTUDOS PARA DETERMINAÇÃO DO RISCO E DE DANOS DE INUNDAÇÃO COM BASE EM GEOPROCESSAMENTO

Wen e Huang (2003) apresentaram um estudo cujo objetivo foi o de desenvolver uma ferramenta de simulação de cheia em 3D (três dimensões) baseada em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que pudesse ser aplicada rápida e economicamente à bacia hidrográfica do rio Keelung – Taiwan. As entradas do modelo foram: mapas básicos (mapa digital do terreno, mapa de planejamento urbano, mapa da rede de tráfego, mapa de construções, etc.) e dados estatísticos e sócio-econômicos da área em questão.

O resultado foi a construção de um Mapa de Frequência de Cheia (FFM – *Flood Frequency Map*) para diferentes tempos de retorno que possibilitou a análise das probabilidades de ocorrência de inundações e a construção das curvas profundidade-dano. Além disso, o modelo se mostrou eficiente na identificação de edifícios e estruturas em posições críticas na zona de inundação, auxiliou na identificação de propriedades em risco, na seleção de rotas de evacuação e na identificação de edifícios a serem usados como abrigos.

Tomando como critério o tempo de retorno da inundação ao invés do tempo de retorno da precipitação, König *et al.* (2002) apresentaram um projeto no qual pretendeu-se desenvolver uma ferramenta operacional e de planejamento para drenagem urbana preventiva com otimização de custos. O projeto de pesquisa envolveu a simulação hidrodinâmica de sistemas de drenagem urbana sobrecarregados. Os danos potenciais esperados foram baseados nos níveis da água sobre a superfície e em parâmetros de inundação, tais como velocidade e duração da cheia. A base do modelo foi o levantamento estatístico sobre eventos históricos de inundações e seus danos correspondentes.

A metodologia foi aplicada às cidades de Trondheim e Baerum, na Noruega, para as quais foi feita a calibração do modelo com as cheias históricas. Posteriormente foi feita a simulação do sistema de drenagem com eventos históricos de precipitação e a determinação dos danos correspondentes em função dos parâmetros hidráulicos da inundação. A combinação com o intervalo de retorno da cheia determinou os custos dos danos anuais. De posse desses resultados, o sistema de drenagem pode ser modificado e os mesmos eventos serem re-simulados tendo como resultado novos custos.

O estudo apresentado por Sande *et al.* (2003) teve como objetivos investigar a utilidade de imagens de satélite de alta resolução espacial IKONOS-2 e de algoritmos de segmentação para produzir um mapa detalhado da cobertura do solo para avaliação dos danos das inundações e obtenção de mapas detalhados para a estimativa dos coeficientes de rugosidade de Manning utilizados em modelos de simulação de cheias. Para tanto, utilizou-se uma imagem de satélite de alta resolução IKONOS-2 com um metro de resolução na banda pancromática e quatro metros de resolução multi-espectrais para produzir um mapa de cobertura do solo.

A metodologia foi aplicada a uma região ao sul da Holanda em torno das vilas de Itteren e Borgharen, com área aproximada de 10km². A imagem foi primeiramente dividida em segmentos e a cobertura do solo classificada pelo uso de informações contextuais, espaciais e espectrais com uma acurácia total da classificação de 74%. O mapa derivado da classificação da imagem foi, então, utilizado como dado de entrada do modelo de simulação LISFLOOD-FP para obtenção do coeficiente de rugosidade de Manning das áreas inundadas. De posse do mapa de cobertura do solo, da estimativa da profundidade da água resultante do modelo LISFLOOD-FP, foi produzido um mapa de danos às propriedades, bastante útil aos tomadores de decisão e às companhias de seguro.

Salgado (1995) desenvolveu um modelo para a avaliação econômica de projetos de drenagem e controle de inundações utilizando medidas de controle do tipo estrutural e não-estrutural para bacias hidrográficas urbanas com indicação dos projetos eficientes de acordo com critérios técnicos e econômicos. O modelo proposto foi aplicado à bacia do Vale do Jacatirão no município de Duque de Caxias – RJ e utiliza um sistema de malha quadrada que permite o gerenciamento de informações espacialmente variadas de forma compacta, associado ao modelo HEC-2 (*Hydrologic Engineering Center*) para a simulação do escoamento em canais e galerias. Os dados de uso do solo foram obtidos tomando como base as análises dos mosaicos de imagens Landsat TM, informações de campo e fotografias aéreas.

Os resultados obtidos foram o resumo dos prejuízos para a área inundada associadas a diferentes frequências, o valor esperado do prejuízo anual para a condição existente, o benefício anual do projeto, o fluxo dos custos do projeto, o valor presente dos benefícios e dos custos de projeto e a viabilidade econômica do projeto.

Vianna (2000) apresentou um estudo cujo objetivo foi a aplicação de uma metodologia para determinação de áreas sujeitas à inundação pela combinação de modelagens hidrológica e hidráulica e de um sistema de informação geográfica (SIG). O estudo, aplicado à cidade de Itajubá- MG, utilizou o modelo HEC-HMS para a simulação hidrológica e o modelo HEC-RAS para propagação da cheia.

O modelo HEC-RAS reproduziu de forma satisfatória as características dos eventos utilizados apresentando-se como uma poderosa ferramenta em estudos referentes à determinação de planícies de inundação. A delimitação das áreas inundáveis foi feita pelo programa SIG/IDRISI no qual procedeu-se a digitalização dos mapas incluindo as curvas de nível em escala 1:5000.

A metodologia mostrou-se eficiente na determinação de planícies de inundação em área urbana tendo evidenciado a dificuldade na obtenção de dados de campo e a necessidade de acompanhamento dos levantamentos de campo.

Dutta *et al.* (2001) apresentaram um estudo no qual foi descrito um modelo desenvolvido pelo *Delft Hydraulic Institute*, com o objetivo de avaliar o risco de cheia integrando ferramentas de SIG com um modelo hidráulico unidimensional. Para uma série de vazões, o modelo calcula a profundidade da inundação e os danos em tempo real em função da profundidade.

O modelo, aplicado à bacia do rio Ichinomiya, Japão, utilizou uma malha de dados de elevação de 50m para a obtenção do modelo digital do terreno (MDT). A partir de dados de satélite SPOT com 20m de resolução foram obtidas seis grandes classes de cobertura do solo. Os usos residenciais e a distribuição espacial de indústrias da área de estudo foram obtidos a partir de dados do satélite LANDSAT e os dados de tráfego da área foram coletados junto ao *Traffic Census Report* preparado pelo Ministério dos Transportes local.

Os resultados foram mapas de inundação com profundidade e contorno da área de inundação bastante próximos dos contornos reais. O modelo apresentou comportamento satisfatório quanto à simulação dos parâmetros de inundação e na estimativa dos danos em área urbana.

Os autores citam, ainda, dois outros modelos que usam dados de cheias passadas para

estimativa de danos. São eles os modelos FDA (*Integrated Package for Flood Damage Analysis*) e ANUFLOOD desenvolvido pelo *Center for Resource and Environmental Studies (CRES)*, *Australian National University*. O primeiro utiliza o método da frequência para o cálculo do dano anual esperado e considera apenas os danos urbanos tais como danos a edificações residenciais e não-residenciais. O segundo avalia os danos por meio das funções *stage-damage* para propriedades residenciais e comerciais. Os autores salientam que nenhum dos dois modelos pode ser utilizado para estimativa de danos em tempo real.

Lima (2003) desenvolveu um estudo com o objetivo de avaliar os impactos das inundações sobre uma região sinistrada utilizando o método Inundabilidade (*Inondabilité*) para a análise do risco, e os benefícios da adoção de medidas não-estruturais, previsão e alerta de inundações e flood-proofing, sobre os danos decorrentes de inundações. O método *Inondabilité* permitiu avaliar a vulnerabilidade e a aleatoriedade convertendo essas variáveis em uma mesma unidade de medida: o período de retorno.

A metodologia foi aplicada aos municípios de Itajubá e Santa Rita de Sapucaí – MG. O mapeamento das áreas inundáveis para os períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos foi feito utilizando o programa SIG/IDRISI conjugado com os modelos HEC-HMS e HEC-RAS. A partir desses modelos foram construídos os mapas de inundação para os períodos de retorno citados e mapas com identificação das alturas de submersão para os mesmos períodos de retorno, espaçadas a cada 50cm de profundidade até a altura máxima de submersão de 5,0 metros.

Para a composição dos custos dos danos foram feitas entrevistas na região em estudo em propriedades residenciais, comerciais, industriais e de serviço, tendo definidos os intervalos de classes a partir do Critério Brasil (ABIPEME, 2003 *apud* Lima, 2003). A partir das informações coletadas procedeu-se a construção das curvas DPS (danos por profundidade de submersão) e a análise dos danos após a utilização das medidas de controle citadas. Os resultados apresentados pelo autor mostraram as regiões de risco de inundação inaceitável definidas após a análise dos mapas de antes e depois da inserção das medidas de controle assim como a eficiência destas na redução dos danos, e a utilidade do método *Inondabilité* na simplificação da análise do risco.

Machado *et al.* (2004) e Machado (2005) apresentaram e discutiram os resultados do desenvolvimento de uma metodologia para determinação de curvas de danos de inundação traduzidos em valores monetários, em função da profundidade de submersão. Em seu estudo assumiram que os benefícios do controle de inundação são iguais aos prejuízos evitados.

Para o setor habitacional foram considerados a qualidade da construção, área construída, o estado de conservação da construção e o conteúdo da mesma (tipo, qualidade e idade). O indicador de poder aquisitivo adotado foi o Critério Brasil (2003) e os custos de reparação na forma de orçamento de reforma tomaram como base a NBR 71721.

A metodologia foi aplicada à cidade de Itajubá e utilizou os dados da cheia de janeiro de 2000. No ano de 2002 foram aplicados 469 questionários no setor habitacional e cerca de 200 nos setores de comércio, serviços e indústria. As análises da distribuição de área construída e de qualidade da construção por classe social evidenciaram a correlação entre essas variáveis, validando as hipóteses básicas do trabalho.

Com base nos resultados encontrados procedeu-se à construção das curvas DPS (danos por submersão) com os valores dos danos expressos em reais por área construída da habitação em m², tendo sido, então, construídas curvas para cada classe social.

O estudo apresentado por Garcia e Paiva (2005) teve o objetivo de avaliar o impacto da urbanização nos eventos de cheia e no aumento das inundações nas áreas de risco na bacia urbana do Arroio Canela, município de Santa Maria – RS. Foi gerado um modelo numérico do terreno por meio da digitalização de cartas topográficas na escala 1:2000 no programa ArcView versão 3.1 e a porcentagem de área impermeável da bacia foi obtida pela determinação do uso do solo, utilizando para tanto uma imagem Ikonos de 2004.

Foram analisados quatro cenários de ocupação: o cenário atual e três cenários de ocupação futura baseados nos dados obtidos pelo zoneamento contido no plano Diretor vigente de Santa Maria, no Projeto de Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental e na condição máxima de ocupação a partir de dados de uma região da bacia com elevado grau de impermeabilização. Em todos os cenários, ruas e calçadas públicas foram consideradas 100% impermeabilizadas.

As simulações foram feitas utilizando o modelo SWMM para determinação do escoamento superficial e propagação da cheia no canal. Os resultados mostraram que para os cenários futuros analisados, o aumento nas vazões de pico e os volumes escoados foram da ordem de 21 a 60% em relação ao cenário atual e evidenciou a aplicabilidade do modelo SWMM como ferramenta no planejamento e gerenciamento da drenagem urbana.

Sands *et al.* (2002) apresentaram os resultados de um estudo no qual foi feita a análise do sistema de drenagem implantado no South Bronx – Nova York, a fim de determinar as causas da inundação ocorrida em 26 de julho de 1999 naquela localidade e apontar soluções para a prevenção de futuras inundações. Na análise foi utilizado o modelo SWMM e sua interface gráfica (PCSWMM) para a simulação de 201 condutos em diferentes cenários para identificar os pontos frágeis do sistema e avaliar o desempenho das soluções propostas. Os resultados das simulações permitiram a identificação de áreas críticas da rede de drenagem e o diagnóstico dos problemas do sistema, além de apontar as soluções para os mesmos.

Holder *et al.* (2002) desenvolveram e calibraram um modelo que utilizou os dados do radar NEXRAD e SIG, o módulo EXTRAN do modelo SWMM e o modelo HEC-HMS com o intuito de compreender as questões de drenagem e a ocorrência de inundações na bacia hidrográfica de Harris Gully no Texas. Foi criado um modelo para avaliar a rede de tubos, o escoamento na superfície e a rede de armazenamento. A transformação da chuva em vazão foi feita pelo modelo HEC-HMS cujos hidrogramas de saída foram os dados de entrada do modelo SWMM. O SIG forneceu a estrutura para a interligação entre os modelos e o modelo SWMM apresentou um resultado satisfatório na determinação dos níveis d'água em sistemas urbanos.

Myers *et al.* (2004) apresentaram os resultados de um estudo com o objetivo de simular os efeitos hidrológicos e hidráulicos de BMPs distribuídas por um complexo de bacias hidrográficas e sistemas separadores e combinados de saneamento. O estudo foi aplicado na bacia hidrográfica de Crobbs Creek – Pensilvânia, tendo sido utilizado o modelo SWMM para avaliar as características operacionais e os benefícios de BMPs estruturais no *Southeastern Pennsylvania Waterways Restoration Program* (SPWRP).

As BMPs analisadas foram: redução do pavimento, poços de infiltração ao longo do sistema

de drenagem, poços de infiltração residenciais, bacias de infiltração, reservatórios individuais, bacias de detenção e retenção, filtros em meio poroso, pavimentos permeáveis, telhados armazenadores, bacias de decantação, *wetlands* e controle em tempo real. Os resultados mostraram a aplicabilidade da modelagem à análise de BMPs em bacias urbanas e a adequação do modelo SWMM para a simulação de sistemas complexos como o da região utilizada neste estudo.

4.5 – CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

O presente capítulo teve como objetivo identificar as técnicas utilizadas para a tomada de decisão sobre a adoção de medidas para o controle de inundações assim como as técnicas utilizadas para análise dos impactos destes eventos.

De maneira mais direcionada foi feita uma descrição detalhada das potencialidades de indicadores como ferramenta para a realização da análise de desempenho de alternativas de controle de inundações, enfatizando o uso de indicadores para essa função e evidenciando as suas possibilidades no tratamento do tema em questão. Além da análise da ferramenta, foi feito um apanhado do uso de indicadores de diferentes tipos em diversas situações, e os estudos desenvolvidos em nível nacional direcionados à drenagem urbana e o controle de inundações.

A elaboração desse tópico da tese permitiu identificar as metodologias passíveis de serem utilizadas na tomada de decisão sobre a adoção de alternativas de controle de inundações urbanas adequadas aos objetivos do estudo e da resposta prevista para esses objetivos, assim como embasar a formulação dos indicadores a serem utilizados na tese. Além disso, foi possível identificar dentre os modelos disponíveis, aqueles integrados com modelos de geoprocessamento.

5.0 – AVALIAÇÃO DE DANOS DIRETOS À INFRAESTRUTURA URBANA

A infraestrutura urbana composta pelos sistemas que atendem a população no seu cotidiano também é afetada pelas inundações. Assim como os demais setores já apresentados no Capítulo 3, a infraestrutura urbana apresenta danos diretos e indiretos.

Os sistemas que compõem a infraestrutura urbana tratados neste estudo são os sistemas: de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem de águas pluviais urbanas, distribuição de energia elétrica, telefonia, viário e resíduos sólidos. Falhas nesses sistemas ocasionam prejuízos que comprometem o cotidiano da população e a saúde da mesma.

Pouco utilizados na avaliação de propostas para a solução de problemas relacionados às inundações, parte-se da premissa que esses sistemas são responsáveis por uma parcela considerável dos danos decorrentes desses eventos. A inexistência da memória dos danos de inundações passadas dificulta a inserção desses aspectos na busca de soluções para o problema. Assim, o presente capítulo tem como objetivo estabelecer uma sistemática para avaliação dos danos relativos a esses setores que se realizou, primeiramente, com uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, sendo seguida da realização de entrevistas junto às concessionárias responsáveis por cada sistema, órgãos públicos responsáveis pela recuperação dos danos e socorro às vítimas em diferentes municípios brasileiros conforme descrito ao longo deste capítulo.

5.1 - DANOS À INFRAESTRUTURA URBANA

Os danos à infraestrutura urbana compreendem os prejuízos diretos ou indiretos relativos às perdas decorrentes da interrupção de serviços e demais inconvenientes ligados ao funcionamento geral de uma região. Normalmente, esses danos são calculados tomando como base os danos diretos aos demais setores. Sendo assim, Penning-Rowse e Chatterton (1977) estimam que 5% dos custos dos danos diretos correspondem aos valores destinados aos serviços emergenciais e 2% seriam destinados aos serviços de utilidade pública. Os custos estimados para a remediação dos danos e para os serviços públicos de saúde, durante e após as inundações, são estimados em 6% do valor total, assim como a interrupção das vias de acesso rodoviário. Não houve relatos da proporção dos danos aos demais setores envolvidos,

fazendo com que fosse proposta uma sistemática de avaliação dos danos diretos aos setores já mencionados (danos diretos ao sistema viário) para comprovação dos mesmos, e também aos setores que não encontram-se descritos na literatura consultada (conjunto de infraestrutura e instalações operacionais de saneamento básico e distribuição de energia elétrica).

Os danos diretos previstos para esses sistemas são aqueles ocasionados pelo contato direto da água com a parte física dos respectivos sistemas. Os danos indiretos relacionados aos mesmos são os danos das perdas por ocasião da interrupção destes serviços, o que vem ocasionar perdas monetárias aos usuários, os custos de reposição de mercadorias e atrasos de serviços, entre outros. Nesse tópico, far-se-á uma revisão dos danos diretos e indiretos na infraestrutura urbana por ocasião das enchentes, assim como serão fornecidas indicações de procedimentos para sua avaliação. As informações contidas no tópico foram baseadas, essencialmente, nos estudos de Penning-Rowell e Chatterton (1997) e Parker *et al.* (1987) complementadas por entrevistas a diferentes setores responsáveis pelo funcionamento de sistemas públicos.

5.1.1 - Danos ao sistema viário

Os prejuízos diretos ao sistema de transporte rodoviário são aqueles referentes à limpeza das vias, reparação dos pavimentos e semáforos. Além desses, os custos marginais por interrupção ao tráfego nas vias e os custos de atrasos devem ser considerados como danos indiretos.

Os custos dos prejuízos diretos podem ter valor substancial para cheias de maior magnitude, muito embora não haja uma padronização para sua determinação. Os custos de atrasos e desvios são determinados levando em consideração o gasto adicional de combustível e a depreciação de veículos em função da lentidão do tráfego pela tomada de rotas alternativas e pelos custos do tempo extra de viagem. Esses custos são calculados tomando como base coeficientes relacionados ao tipo de veículo (pequeno para transporte de passageiros, transporte de mercadorias, transporte de pessoas), e à velocidade média dos mesmos. Os custos de atrasos são calculado a partir de estimativas do tempo extra gasto para efetuar o percurso, tomando como base as informações dos departamentos de transportes.

As técnicas para a determinação dos elementos citados no parágrafo anterior dependem da determinação do fluxo de veículos nas principais vias de acesso, da sugestão de rotas de

acesso alternativas e da disponibilidade de desvios. Caso na localidade, as informações a respeito do fluxo de veículos não esteja disponível, verifica-se a existência de um banco de dados nacional que forneça as informações necessárias.

Normalmente o transporte ferroviário é o último a ser afetado por ocasião das inundações. De maneira geral os danos à rede ferroviária são relativamente pequenos. Os danos e seus respectivos custos podem incluir, além dos danos à via férrea propriamente dita, os custos de limpeza e retirada de sedimentos depositados na pista, e o reparo dos sistemas elétricos da sinalização.

A movimentação normal do tráfego nas ferrovias cessa quando a água atinge um nível 50mm abaixo da superfície superior do trilho. Até a superfície da água alcançar 100mm acima da superfície superior do trilho, somente movimentação emergencial é permitida, e se o nível da água superar a 100mm, nenhuma movimentação é permitida.

Os custos relativos a desvios, atrasos e transportes alternativos, em certos casos, são calculados em conjunto para as inundações, os deslizamentos e os descarrilamentos. Os custos dos danos serão, então, proporcionalmente mais significativos em relação ao tempo gasto no reparo do que em relação ao dano físico à linha propriamente dita.

Os custos dos danos são inteiramente dependentes das circunstâncias e podem diferir largamente de ocasião para ocasião. Os custos podem incluir os serviços, modos e rotas de transporte alternativo, para a tripulação e usuários, os custos dos atrasos nas mercadorias e perda de renda dos passageiros.

5.1.3 - Danos a veículos rodoviários

Para avaliação dos danos aos veículos rodoviários, estes são classificados conforme seu preço e faixas de tamanho (porte do veículo). São determinadas profundidades de água críticas, pois o nível de reparo necessário é dependente da altura da água na inundação. Os reparos vão desde a verificação de freios e discos, drenagem de água retida nos sistemas, limpeza de carpetes e troca de tapetes até reparo e troca de componentes elétricos e eletrônicos dos veículos.

5.1.4 - Danos aos serviços de telecomunicações

Os danos ao sistema de telecomunicações decorrentes das inundações incluem os danos com reparo e troca de aparelhos domésticos e de cabos e equipamentos das subestações.

Os danos aos equipamentos e estações de telefone assim como à construção das mesmas, são dependentes da altura de submersão à qual os mesmos são expostos. Alturas de submersão entre 0,25 e 0,35m podem afetar alguns componentes da estação. Se por outro lado a altura da água alcançar 2m, provavelmente uma nova estação deverá ser construída.

Com relação aos danos aos cabos e pontos de conexão (cabines e colunas), desde a metade dos anos 60, os cabos utilizados para cabines de distribuição primária, têm sido pressurizados. Os maiores danos ocorrem antes da pressurização dos mesmos. Excetuando-se durante inundações extremas, que podem ocasionar quebras, sugere-se que os mesmos devam estar totalmente protegidos.

Inundações severas podem acarretar a troca prematura de cabos e a velocidade da água pode causar danos mecânicos aos mesmos. O reparo aos cabos danificados tem um alto custo e requerem um trabalho intenso, mas não requerem sua troca.

Quando o nível da água se eleva acima do nível da rua, os equipamentos alojados ao nível do solo, cabines e suportes, estão em risco. Os danos dependerão da severidade da cheia, pois a água a até 0,30m acima da base da cabine poderá não afetar de forma significativa a mesma.

Com relação aos aparelhos de telefone, em caso de submersão, os mesmos deverão ser trocados e os custos variarão de acordo com o aparelho.

5.1.5 – Danos ao fornecimento e distribuição de energia elétrica

Não é prática corrente a instalação de subestações de eletricidade nas adjacências dos rios e córregos, em virtude das limitações impostas pela área em relação às características técnicas necessárias à instalação das mesmas.

Há três tipos principais de subestações: primária, secundária e pólos transformadores. Para todos os tipos de subestações, os danos decorrentes das inundações dependem da altura alcançada pela água. Cada subestação primária supre aproximadamente 50 subestações

secundárias e 30 transformadores. As subestações secundárias típicas transformam a voltagem de 11kV para 240V, e consistem de um transformador e de equipamentos de controle de baixa voltagem. Os custos de reparo das subestações secundárias variam de acordo com o número de disjuntores de circuitos de alta e baixa voltagem, do número e tamanho de transformadores e fusíveis.

Uma profundidade de 0,60m de inundação pode ser suficiente para ocasionar algum dano à subestação e conseqüente falha no abastecimento. A unidade de distribuição de baixa voltagem pode trabalhar submersa, mas uma unidade de distribuição de alta voltagem que é resistente às intempéries, a uma profundidade de 0,90m, provavelmente será danificada. Se a mesma for totalmente submersa, será bastante provável a necessidade de substituição.

As unidades transformadoras são protegidas até a sua completa submersão. A partir de então, o óleo dentro dela será contaminado com a água e causará alta tensão, centelhas e danos irreparáveis levando à sua substituição.

As caixas de ligação e cabos enterrados, geralmente, sofrerão apenas ligeiros danos, desde que sejam preparados para funcionar quando alagados. A parte mais vulnerável do sistema são as terminações dos cabos de baixa voltagem.

Os danos decorrentes das inundações no sistema de energia elétrica podem afetar, também, os medidores domésticos e os equipamentos de serviço. Os medidores devem ser substituídos após serem inundados.

A maior parte das subestações retorna à atividade num período de 24 horas, período no qual os consumidores permanecem sem atendimento.

5.1.6 – Danos ao sistema de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto

Alguns componentes dos sistemas de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto estão sujeitos a danos por ocasião das inundações. A rede de distribuição (condutos) e os dispositivos de armazenamento de água normalmente não são afetados pela inundação, e a chance de invasão das águas pluviais nos hidrantes é pequena. No entanto, as estações de bombeamento e tratamento, tanto de água quanto de esgoto, são muito susceptíveis a danos.

Se houver ruptura do sistema durante eventos de maior magnitude, é difícil localizar a posição do dano, sendo assim, em caso de necessidade de reparos, o tempo e o custo poderão ser altos, além do risco existente de contaminação da água na rede.

Os equipamentos de telemetria para o monitoramento do nível dos reservatórios são normalmente protegidos, mas podem ocorrer danos aos cabos dos equipamentos. Efeitos de longo prazo podem ocorrer pela repetição de eventos de inundação em estações elevatórias e de bombeamento.

Os custos dos reparos por ocasião das inundações não constam, normalmente, de um item separado. Eles são incluídos nos custos de reparo gerais.

Se a rede de coleta e transporte de esgoto for do tipo separadora, há a possibilidade de contaminação das águas pluviais por efluentes de esgoto. Além desses, a rede coletora de águas pluviais pode sofrer rupturas e, quando dimensionada para trabalhar como conduto livre, pode tornar-se pressurizada em função do excesso de água introduzido na rede na ocorrência de inundação.

5.1.7 – Operações necessárias ao restabelecimento das condições regulares

As operações para o restabelecimento das condições normais do município após um evento de inundação dizem respeito às questões ligadas à limpeza urbana e ao manejo dos resíduos sólidos. Para se obter o custo de limpeza dos logradouros da área inundada, é necessário que sejam feitas consultas aos serviços municipais de limpeza urbana que, geralmente, dispõem de informações relacionadas à quantidade de detritos removidos e sobre os recursos humanos, materiais e financeiros envolvidos na operação.

O procedimento deve envolver:

- O estabelecimento de relações entre detritos removidos em peso, nível da água e a área inundada;
- A determinação de índices de custo médio de limpeza após as inundações, por tonelada de detritos removidos; e
- A elaboração de uma análise quanto à gênese dos depósitos de detritos a fim de avaliar a influência do projeto de drenagem e controle de inundação nos volumes a serem removidos

por bacia (Salgado, 1995).

5.1.8 – Análise da susceptibilidade física dos sistemas

Para se ter uma idéia das partes de cada sistema que são mais afetados na ocorrência de inundações, foi feito um levantamento da susceptibilidade física apresentado por cada sistema. Os resultados encontram-se descritos no texto a seguir.

5.1.8.1 – Distribuição de energia elétrica

Para o sistema de distribuição de energia elétrica, de maneira geral, a susceptibilidade física é baixa tal qual apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Susceptibilidade física das redes de distribuição de energia elétrica (adaptado de Parker *et al.*, 1987)

Elemento	Susceptibilidade Física
Estações de Força	Geralmente baixa
Salas de controle	Não conhecida
Estação de distribuição de 132kv	Baixa
Estação de rebaixamento de 132/33kv	Variável pelo tipo de equipamento
Estação de rebaixamento de 33/11kv	
Estação de rebaixamento de 11kv/240	Baixa
Caixas de ligação	Baixa
Linha de 132kv	Nula
Linha de 33kv	Muito baixa
Linha de 11kv	Muito baixa
Linha de 240/415 volts	Baixa

Os principais pontos de vulnerabilidade dos sistemas de fornecimento e distribuição de energia elétrica são as estações de alta voltagem, em particular aquelas entre o painel principal de 132kV e as linhas de distribuição de 11kV. Além disso, os custos dos danos podem aumentar se estações utilizadas normalmente, apenas para suprir a demanda de pico, forem utilizadas de modo contínuo, na tentativa de suprir a ruptura de fornecimento da rede original, uma vez que esses elementos possuem uma baixa eficiência.

O tipo de equipamento instalado em uma estação ou subestação influencia no volume dos danos. Estações de alta voltagem são, particularmente, susceptíveis aos danos físicos da água

se no momento da inundação as mesmas estiverem energizadas (em funcionamento). Subestações secundárias (11kv/415 ou 240volts) podem continuar operando quando imersas a até 600mm de água. Caixas de conexão subterrâneas, geralmente, são à prova d'água, mas pode-se prever uma falha de aproximadamente 5% das mesmas. Os quadros de distribuição situados nos edifícios são as ligações de fornecimento de eletricidade mais susceptíveis, pois na ocorrência de inundações, podem ocorrer centelhas e o conseqüente risco de incêndio. Fora da área de inundação, em áreas urbanas, poucos são os consumidores que terão seu fornecimento de energia interrompido em virtude desta.

5.1.8.2 – Abastecimento de água potável

Algumas partes do sistema de abastecimento de água potável são vulneráveis à inundação, podendo causar interrupção ao abastecimento. As estações de bombeamento são instaladas, necessariamente, nas partes baixas da bacia para facilitar a captação de água de rios, arroios e lagos. Dessa forma, essas instalações tornam-se os pontos de maior fragilidade do sistema, não apenas pela possibilidade do corte de fornecimento de energia elétrica, mas também, em virtude do número de pontos de captação instalados (geralmente um).

A probabilidade que a tubulação de distribuição de água venha ser afetada é pequena, a menos que outros elementos, tais como pontes e outras estruturas, sejam avariadas, o que aumentará a susceptibilidade aos danos. A susceptibilidade física aos danos no sistema de tratamento está nas bombas e acionadores elétricos. A Tabela 5.2 apresenta os níveis de vulnerabilidade apresentados pelo sistema de abastecimento e distribuição de água às comunidades atingidas por enchentes.

Tabela 5.2 – Susceptibilidade física dos sistemas de abastecimento de água
(adaptado de Parker *et al.*, 1987)

Parte do sistema	Susceptibilidade física
Estações de tratamento	Média
Dispositivos de armazenamento	Baixa
Estações de bombeamento	Alta
Conduitos	Baixa

5.1.8.3 – Esgotamento sanitário

Assim como as estações de bombeamento do sistema de abastecimento de água, as estações

de bombeamento de esgoto, também são instaladas nas partes baixas da bacia. Isso faz com que as bombas e demais componentes elétricos do sistema sejam vulneráveis às enchentes. A consequência de uma falha nesse sistema corresponde à perda temporária do tratamento, o que vem reduzir o padrão de lançamento dos resíduos nos corpos d'água e consequências adversas ao meio ambiente.

A Tabela 5.3 apresenta a susceptibilidade física característica do sistema de coleta e tratamento de esgotos à ocorrência de inundações.

Tabela 5.3 - Susceptibilidade física das redes de saneamento
(adaptado de Parker *et al.*, 1987)

Parte do sistema	Susceptibilidade física
Estações de tratamento	Alta
Estações de bombeamento	Alta
Conduitos	Baixa

5.1.8.4- Rede de telecomunicações

De todos os sistemas de atendimento à comunidade, este é o sistema que se apresenta mais frágil no que diz respeito à interrupção de fornecimento por ocasião das enchentes. Esse sistema é puramente hierárquico, com pequena redundância, o que resulta em pequena transferibilidade. Isso faz com que a susceptibilidade das instalações aos danos de cheia seja alta, uma vez que as instalações (salas de força) são localizadas no nível térreo ou subsolo.

Diante da ocorrência de inundações, há a necessidade de verificação das ligações entre os cabos e nos pontos de conexão primários (cabines). Dependendo do modelo das cabines, podem ser necessários desde pequenos reparos até a completa substituição das mesmas.

A vulnerabilidade, no caso das telecomunicações, inclui, também, o intervalo de tempo necessário para o completo restabelecimento do serviço. Não existem dados sobre perdas dos consumidores por ocasião da interrupção das comunicações. A Tabela 5.4 apresenta os níveis de vulnerabilidade das redes de telecomunicações à interrupção por ocasião das inundações.

Tabela 5.4 – Características da vulnerabilidade das redes de telecomunicações
(adaptado de Parker *et al.*, 1987)

Parte do sistema	Susceptibilidade física
Troca do STD	Muito alta
Troca da central telefônica	Muito alta
Ponto de conexão primário (cabines)	Baixa
Ponto de conexão secundário (suportes)	Baixa
Cabos principais*	Baixa
Conexões do consumidor*	Média

* telex, linhas privadas/ STD = Subscritores troncos de discagem

5.2 – LEVANTAMENTO DE DADOS PARA A AVALIAÇÃO DE DANOS À INFRAESTRUTURA URBANA

A sistemática de avaliação de danos proposta no presente capítulo é o resultado da conjugação de um conjunto de entrevistas com a revisão bibliográfica apresentada no item anterior. Essa proposição parte da premissa que os danos à infraestrutura urbana são significativos e que é adequada a sua inclusão na análise financeira relativa à escolha de alternativas de controle de inundações urbanas, mesmo que a literatura internacional estime valores inferiores a 10% para os mesmos.

Numa primeira tentativa buscou-se os registros de dados referentes aos danos em empresas e prefeituras municipais de diferentes municípios de diferentes estados, de maneira a possibilitar a implementação de uma base de dados para a avaliação de danos diretos aos setores que atendem a população em área urbana. A realidade mostrou que essa metodologia não poderia ser executada uma vez que nos municípios contatados não havia disponibilidade de arquivos dos prejuízos contabilizados nem por parte das concessionárias de serviços públicos nem por parte das prefeituras. Assim, para a aquisição de informações referentes aos danos procedeu-se uma nova abordagem composta por entrevistas ao pessoal técnico e de manutenção das concessionárias de serviços públicos, órgãos de prefeituras municipais e órgãos da Defesa Civil.

O processo de levantamento de dados para a formulação da sistemática foi iniciado em janeiro de 2007 e foi finalizado em maio de 2009, aproximadamente dois anos e quatro meses contados a partir do início dessa etapa até o final do levantamento de dados. A primeira fase do levantamento de dados consistiu da identificação dos setores e os respectivos responsáveis

pelas informações nas concessionárias e nos órgãos das prefeituras e Defesa Civil. Era estabelecido um contato telefônico e posterior visita ao local e o agendamento das entrevistas. Ao todo foram contactadas em torno de 60 (sessenta) pessoas entre gerentes e técnicos das concessionárias, e responsáveis pelas informações nas administrações locais.

Para a execução das entrevistas foi limitada a consulta aos municípios de Belo Horizonte, Contagem, Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre, todos no estado de Minas Gerais. A escolha foi feita em função de facilidades de contato com os responsáveis pelos diferentes sistemas e pela existência de estudos já desenvolvidos para municípios do sul do estado.

Foram entrevistados responsáveis e técnicos da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e da COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) de Belo Horizonte, Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre; a Defesa Civil do estado de Minas Gerais e dos municípios de Itajubá e Santa Rita do Sapucaí; a SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital) em Belo Horizonte; a prefeitura de Itajubá; o responsável pela Secretaria de Planejamento de Santa Rita do Sapucaí durante a inundação de 2000 e representante atual da mesma secretaria em Pouso Alegre, a prefeitura de Contagem, técnicos e prestadores de serviço da TELEMAR e EMBRATEL e prestadores de serviço na rede de drenagem de Belo Horizonte.

O levantamento efetuado assim como os relatos que de alguma forma elucidam o problema das inundações nos municípios visitados encontram-se no texto a seguir. Segundo a memória dos entrevistados, encontram-se listados os danos observados na época de cada enchente e as medidas corretivas e preventivas adotadas em função das respectivas experiências.

5.2.1 - Levantamento efetuado em Belo Horizonte e região metropolitana

Nas entrevistas feitas em Belo Horizonte, o único dano observado que pode ser atribuído unicamente à ocorrência de inundações na zona urbana são colapsos no sistema coletor de águas pluviais (boca de lobo e poço de poços de visita) da região metropolitana. O lixo acumulado após cada um desses eventos também é um agravante e deve ser retirado de modo a não comprometer o funcionamento do sistema.

Segundo os entrevistados, os grandes problemas apresentados por inundações dos rios e

córregos urbanos tais como o ribeirão Arrudas e córrego Cardoso, encontram-se atualmente quase que totalmente solucionados. Mesmo assim, algumas partes da região metropolitana ainda sofrem com as inundações, mas os prejuízos diretos descritos pela CEMIG e COPASA não são significativos.

Após a ocorrência de eventos em janeiro de 2009 no município de Belo Horizonte e região metropolitana buscou-se mais uma vez obter um levantamento de danos após a inundação.

Dentre as regionais da capital, sofreu com inundações a região do Barreiro. A documentação apresentada sobre a cheia para essa regional constou de uma descrição da manutenção do sistema viário e drenagem, e de um mapa das ruas mais atingidas. Para verificação da área atingida foi utilizado o mapeamento feito pela Defesa Civil de Belo Horizonte junto com o AVADAN (formulário de avaliação de danos) do evento. Pelos relatos e pelo material consultado foram identificadas 40 bocas de lobo erodidas, 5 grelhas transversais e 4 grelhas de poços de visita levadas pela água, 100 metros de canal e 70 metros de rede tubular danificados.

As partes da rede que não foram danificadas necessitaram de limpeza. A manutenção de bocas de lobo (limpeza) a exemplo de outros municípios é feita com base em contratos de manutenção efetuados pelas prefeituras com empresas de engenharia e manutenção para execução regular desses serviços.

O material fornecido pela prefeitura de Contagem não foi passível de utilização pela falta de quantitativos que permitissem o estabelecimento de correlações em relação aos danos observados.

5.2.2 - Levantamento efetuado em Itajubá

No município de Itajubá foram visitados e entrevistados representantes das regionais da CEMIG e COPASA, Prefeitura Municipal (Secretaria de Planejamento), Defesa Civil e UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá). Os dados constantes do levantamento referem-se às inundações de 1991 e 2000, uma vez que em 2007, após as intervenções no trecho do rio Sapucaí que atravessa a cidade, a água chegou a sair ligeiramente do seu leito, mas não causou danos na maior parte dos sistemas investigados.

5.2.2.1 - Informações recolhidas na CEMIG

Os dados recolhidos na CEMIG foram fornecidos por dois técnicos que trabalharam durante a enchente de 2000, Camilo França e Edson Silva. Esse evento iniciou-se na noite de 31 de dezembro de 1999 e teve duração superior a três dias.

Segundo os técnicos entrevistados, os maiores danos decorrentes de uma inundação nesse sistema, que foi o caso da enchente de 2000, ocorrem na zona rural, onde foram relatadas a queda de postes e a ruptura de cabos de condução de energia em virtude da erosão causada na base dos postes pela velocidade da água e a queda de árvores. Além disso, na zona rural houve a danificação de transformadores por descargas elétricas.

Na área urbana de Itajubá, os técnicos relataram a substituição de aproximadamente 4000 medidores para a enchente de 2000 situados em locais em que a altura da lâmina d'água alcançou os mesmos (aproximadamente 1,5 m) parcial ou totalmente. Segundo os entrevistados, ainda hoje efetua-se a troca de medidores danificados na referida enchente, elevando-se o quantitativo descrito decorrente da inundação.

5.2.2.2 - Informações recolhidas na COPASA

Na COPASA a entrevista transcorreu na sede da empresa no município e participaram o gerente regional, Tales Mota, o técnico Benedito Mota e o engenheiro Eduardo Fernando de Vasconcelos. Nesta empresa foi possível resgatar a memória das inundações de 1991 e de 2000.

Segundo o gerente regional da empresa, no sistema de água, a parte mais vulnerável é a captação, mas o maior montante de danos está no sistema de esgoto. Segundo os entrevistados, a cada ocorrência de inundação, modificações no sistema foram sendo executadas para torná-lo menos vulnerável. Assim, a cada evento, o nível de danos foi diminuindo e os respectivos sistemas, já bastante antigos, estão sendo substituídos.

No caso do sistema de captação, a vulnerabilidade deve-se à forma com que a mesma é montada e à altura em que ficam os conjuntos motor-bomba e quadros de comando. Com a variação do nível da água, no baixo recalque há o acúmulo de muita sujeira e galhos de árvores que se enroscam e viram a balsa trazendo prejuízos referentes à balsa e do

equipamento nela instalado. Em eventos normais o alto recalque não é afetado, mas na enchente de 2000 houveram prejuízos nos motores e transformadores além do rompimento de uma adutora de recalque. Na enchente de 1991 foram afetados os transformadores e o quadro de comando.

Como prevenção, em situações de emergência a água na captação entra direto no alto recalque, o quadro de comando foi colocado em lugar mais alto e protegido e foram criados sistemas de “imunovias” para que os conjuntos motor bomba do alto recalque, que são mais potentes, sejam realocados na parte mais alta em período de risco (de novembro a março).

As travessias junto às pontes dos ribeirões são elementos vulneráveis uma vez que o seu rompimento causa a perda de toda a água reservada e a possível contaminação da rede. Na cheia de 1991 houve a perda de 3 (três) travessias junto às pontes dos ribeirões de Itajubá. Isso ocorreu em consequência do arraste de troncos e galhos de árvores durante a inundação que causaram o rompimento das mesmas e deixaram a população entre 10 e 12 dias sem abastecimento de água obrigando a COPASA a abastecer as regiões altas da cidade por meio de caminhões pipa. Hoje, as travessias contam com registros em locais seguros nas margens de cada lado. Numa situação de emergência estes registros são fechados e caso as travessias sejam danificadas, não há a perda da água na rede de distribuição e nos reservatórios.

Na enchente de 2000 a população de Itajubá ficou 36 horas sem abastecimento de água e três dias sem produção de água tratada. Após a enchente, durante 3 (três) meses o consumo de água pelos moradores foi liberado para a realização da limpeza das residências e estabelecimentos comerciais. Durante esse período cada consumidor pagou pela média de consumo normal para a companhia. Além disso, o número de manutenções na rede de água duplicou após a enchente.

Segundo os técnicos da COPASA, em caso de enchente, os maiores danos ocorrem no sistema de esgoto. A cidade conta com uma rede de esgoto combinado (esgoto sanitário e pluvial juntos) mais antiga, e uma boa parte dessa rede ainda é de material cerâmico estando sendo substituída gradativamente por uma rede separadora. Uma parte da rede executada mais recentemente já foi executada no sistema separador substituindo o material cerâmico por tubos de concreto.

Segundo os relatos quando da ocorrência de inundações, a rede de esgoto sofre uma sobrecarga deixando a tubulação planejada para trabalhar como conduto livre sob pressão. Alguns trechos da rede não agüentam a pressão e sofrem algum tipo de dano no material constituinte, que cessada a pressão pode ocasionar o abatimento da rede naquele local com a entrada de solo na tubulação e o dano à tubulação propriamente dita e ao pavimento naquele local.

A lama trazida pela água deposita-se nas ruas e nas residências, e durante a limpeza muito desse material é transportado para o sistema coletor causando danos e inibindo fluxo do esgoto. A limpeza da rede é feita, então, por meio de caminhões e equipamentos específicos (hidrovácuo) que lavam e sugam a areia que está ali depositada. Ao final dessa tarefa, diversos pontos da rede sofrem abatimentos pela despressurização da mesma e pela intrusão de areia e sedimentos na tubulação. Os pontos frágeis são, normalmente, as juntas da tubulação de cerâmica que não resiste à pressão da água no interior do tubo e se rompe. Deve-se salientar que o custo de reparo dos danos ao pavimento por ocasião dos abatimentos é de responsabilidade da COPASA uma vez que o causador do dano é a intrusão do material que recobre a rede.

Em janeiro de 2007, apesar de não ter havido grandes conseqüências para o município, o enchimento da calha do rio e o pequeno extravasamento deste, causou uma sobrecarga grande e abatimentos nas tampas de poços de visita, nos ramais e nos interceptores.

5.2.2.3 - Informações recolhidas em outros setores do município

Não houveram contribuições para essa etapa do levantamento por parte da Prefeitura Municipal e pela UNIFEI. A Defesa Civil local não possui dados das enchentes anteriores, mas na Defesa Civil do Estado de Minas Gerais foi conseguido o AVADAN das enchentes de 2000 e de 2007. Como o sistema de avaliação de danos deste órgão é relativamente recente, o AVADAN do ano de 2000 não foi mais esclarecedor do que as entrevistas executadas, mas forneceu uma boa definição da área que foi inundada.

5.2.3 - Levantamento efetuado em Santa Rita do Sapucaí

O levantamento de informações em Santa Rita do Sapucaí foi feito novamente na COPASA e na CEMIG. Não foi possível contactar nem a Prefeitura Municipal (Secretaria de

Planejamento) e nem a Defesa Civil Municipal. Em contrapartida, na entrevista feita na COPASA, esteve presente o secretário de planejamento da época da enchente de 2000, que causou sérios danos em praticamente todo o município. Várias das situações descritas são semelhantes às já observadas e levantadas para o município de Itajubá. Serão descritos, então, aquelas situações em que houveram características diferenciadas.

5.1.3.1 - Informações recolhidas na CEMIG

O técnico da CEMIG que participou da entrevista, Paulo Ribeiro da Costa, já era funcionário da empresa na enchente de 1991 e trabalhou durante a enchente de 2000. Segundo relato do funcionário, a inundação no município durou 5 (cinco) dias na maior parte da cidade e até 10 (dez) dias nas imediações do mercado municipal. Na parte plana da cidade, 80% desta foi afetada pela inundação, sendo que na parte mais crítica, a altura da lâmina d'água atingiu 3 metros, tendo havido retorno da água contaminada pelo esgoto.

Durante 24 horas foi necessário desligar a energia por precaução assim que a água ameaçava atingir os transformadores, tarefa que era dificultada uma vez que o acesso aos locais era de barco. Além dessa, havia dificuldade no atendimento dos locais afetados sendo atendidos somente aqueles locais que era possível o acesso.

Na porção do município afetada a maioria dos medidores ficou submersa, mesmo que parcialmente. Dois postes próximos ao leito do rio caíram devido à correnteza e a conseqüente erosão no pé destes, associada à velocidade da água e saturação do solo.

5.2.3.2 - Informações recolhidas na COPASA

A entrevista feita na COPASA em 28/02/2008 teve a participação do responsável pela empresa no município, Benedito Elsen Ribeiro, e do Secretário de Obras da Prefeitura Municipal na gestão da enchente de 2000, Sr. Gerardo de Abreu Costa. A entrevista transcorreu em conjunto uma vez que os próprios entrevistados julgaram mais eficiente dessa forma, já que durante e após o evento de 2000 no município, o trabalho foi conjunto todo o tempo entre COPASA e Prefeitura (Secretaria de Obras) devido à relação estreita entre a companhia e a administração da época.

Segundo os relatos, durante o evento de 2000, Santa Rita do Sapucaí não possuía

Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) e foi o único município atingido no qual não houve morte. Para esse evento, a parte da cidade atingida (em torno de 70% do município) após uma semana estava completamente limpa e a população vacinada.

Em relação aos danos, os entrevistados afirmaram que o maior prejuízo ocorreu nos imóveis, tanto que o governo liberou o fundo de garantia para a população recuperar os prejuízos, e os lojistas abriram linhas de financiamento próprio.

Em janeiro de 2000, o rio Sapucaí começou a subir em Santa Rita do Sapucaí por volta de 14:00 horas do dia primeiro de janeiro. Às 3:45 horas ele estava mais de 6 (seis) metros acima do normal. O período crítico no município aconteceu entre as 22:00 horas do dia primeiro e as 7:00 horas do dia 02 de janeiro porque a água já havia atingido o interior das casas e a população não acreditava que ela fosse subir mais. Foi destacado pelos entrevistados a importância do sistema de alerta em virtude da credibilidade deste pela população.

Num trabalho conjunto, prefeitura e COPASA mobilizaram-se por sete dias, com máquinas trabalhando (carregadeiras, retroescavadeiras, patrões, tratores, caminhões de carga seca e basculante) 24 horas por dia. Além destes, a prefeitura municipal forneceu combustível para aqueles que se disponibilizavam a auxiliar, mas não houve como controlar esse consumo.

Toda a área até a cota 840 foi inundada. A captação foi danificada, mas foi possível recuperá-la, uma margem inteira do rio foi destruída (aproximadamente 300 m de muro danificado e 500 m² de calçamento da margem arrancado), aproximadamente 30 mil m² de calçamento necessitou de recuperação em toda a cidade. Na rede de galerias pluviais, entre 100 e 150 pontos necessitaram de manutenção (retirada de lixo de bocas de lobo). Para recuperação de cada ponto da rede pluvial danificada, é necessário um corte de aproximadamente 3,0 m do calçamento com profundidade dependendo do diâmetro da tubulação (entre 1,5 e 3,0 m). O dano maior no calçamento não ocorreu na parte baixa da cidade, mas sim na parte alta devido à falta da rede de drenagem e ao assoreamento do calçamento.

Como acabou a água reservada, houve contaminação de aproximadamente 5000 (cinco mil) metros da rede de abastecimento de água de diâmetro de 300mm necessitando de descontaminação. Além disso, 3 (três) veículos tiveram seus motores danificados (fundidos) e

houve perda de documentos da prefeitura.

5.2.4 - Levantamento efetuado em Pouso Alegre

No município de Pouso Alegre foi possível entrevistar os técnicos e responsáveis técnicos da COPASA e CEMIG e um engenheiro da Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal. As entrevistas feitas em Pouso Alegre foram importantes para a compreensão da gênese dos danos à infraestrutura urbana nas inundações em função das características das enchentes no município.

5.2.4.1 - Informações recolhidas na CEMIG

Durante todo o processo de coleta de dados junto à CEMIG, foi fundamental a participação do engenheiro Benedito Cipriano, que forneceu todo o suporte necessário e termos de contatos na empresa e formalizou toda a agenda de visitas em todos os municípios do sul de Minas.

Participaram da entrevistas os funcionários Luiz Eduardo Fuzatto e José Walber Cabral Vilhena. Ambos os entrevistados participaram dos trabalhos de socorro e recuperação nas inundações de 2000 e 2007.

As informações fornecidas são bastante semelhantes aos dados já coletados nos demais municípios visitados. Segundo os entrevistados aproximadamente 30% da área urbana foi atingida (Bairro São Geraldo e imediações) com uma altura de lâmina d'água de aproximadamente 2 (dois) metros tendo durado aproximadamente 1 (uma) semana.

Ao serem questionados sobre o sistema instalado, foi informado que os postes são colocados a cada 40m e que os mesmos são susceptíveis à duração da inundação, uma vez que estes são apenas aterrados. Uma vez prolongada a inundação o solo fica saturado e pode haver o tombamento dos postes. Esse efeito pode ocorrer num intervalo de tempo menor se a chuva tiver uma intensidade alta e uma velocidade de escoamento alta também. Os dois efeitos conjugados podem causar o tombamento de postes com 2 horas de chuva.

É consenso entre os entrevistados da CEMIG que à medida que aumenta a altura d'água há a necessidade de se desligar os transformadores. Esses dispositivos abastecem, em Pouso Alegre, 60 unidades consumidoras e devem ser desligados quando a altura da água atingir 1,5

metros. Segundo os entrevistados, durante a cheia de 2000 aproximadamente 40 transformadores tiveram que ser desligados e seis postes caíram na área urbana de Pouso Alegre. Além destes, aproximadamente 5000 medidores foram substituídos.

A cheia de 2007, por sua vez, teve duração entre 2 e 3 dias e não houve interrupção do fornecimento de energia.

5.2.4.2 - Informações recolhidas na COPASA de Pouso Alegre

Na regional da COPASA de Pouso Alegre, a entrevista foi feita com o Engenheiro Alexandre José Grego. Segundo o entrevistado, as características das enchentes em Pouso Alegre são diferenciadas em relação aos demais municípios visitados e ocorrem pelo remanso das águas do rio Mandu, afluente do rio Sapucaí-Mirim, no município. As águas do rio Sapucaí que vêm dos municípios a montante (Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Maria da Fé) enchem a sua calha e as águas do rio Sapucaí-Mirim completam o volume. Assim, as águas do rio Mandu não têm para onde escoar e ficam represadas causando a enchente na várzea.

Segundo o entrevistado, as enchentes do rio Mandu são enchentes lentas, são enchentes de “depósito” e não de “arraste”, caso dos demais municípios visitados. Há tempo para alerta e retirada da população e para o trabalho da Defesa Civil. A enchente demora de 3 a 5 dias para chegar no seu nível máximo e o mesmo tempo para baixar.

Assim, os maiores problemas que a companhia tem são os entupimentos na rede de esgoto provenientes dos resíduos depositados juntamente com a água que fica parada pela baixa declividade existente e pelo remanso do rio. O trabalho da COPASA é então de desobstruir a rede em virtude do material depositado durante a enchente (terra e entulho das ruas e casas) e dar suporte na limpeza pesada da cidade.

Normalmente não há ruptura da rede da COPASA em Pouso Alegre. A rede não é despressurizada não havendo contaminação desta, e não há o corte do abastecimento de água.

Com relação aos reparos e auxílios pós-enchente, isso não causa sobrecusto para a empresa. As correções necessárias são feitas como atividades normais e mesmo a determinação do governo estadual de cobrança da média durante a enchente de 2000, foi adotada pela empresa

durante apenas 1 (um) mês e mesmo assim foi feita análise caso a caso.

5.2.4.3 - Informações recolhidas na Prefeitura Municipal de Pouso Alegre

A Prefeitura Municipal de Pouso Alegre elaborou, logo após o evento de 2000, um relatório sobre os danos ocorridos no município e a mobilização de recursos durante a crise para possibilitar o retorno das famílias às suas respectivas residências. Esse relatório descreve ações de socorro assim como os setores mais atingidos pela cheia.

O relatório descreve como danos observados aqueles ocorridos em 10% dos imóveis urbanos cadastrados (3500 imóveis), 1/3 da malha rodoviária municipal rural (600km), cerca de 12500 pessoas desabrigadas (equivalente a 12% da população), a interrupção da BR381 na altura da cidade de Careagu, destruição de 4 (quatro) pontes, 5 (cinco) escolas municipais atingidas, 2 (duas) unidades de saúde e 1 (uma) vítima fatal.

Para atendimento durante o evento foram designados 40 veículos, 130 pessoas e 1 helicóptero. Para a execução de serviços de varrição, limpeza, remoção de entulhos, desobstrução de galerias e higienização foram mobilizadas 180 pessoas, 70 veículos e 8 máquinas, tendo sido removidos 1500 caminhões de entulho (7500m³). Para os serviços de assistência social no retorno ao lar foram designadas 60 pessoas e 10 veículos, tendo sido cadastradas 2800 famílias. Para atendimento às famílias cadastradas foram estimados:

- 12000 conjuntos de colchão, travesseiro, toalha e cobertor;
- 10000 conjuntos de limpeza e higiene pessoal;
- 2000 cestas básicas;

As obras emergenciais necessárias levantadas foram:

- Recuperação do aterro do dique do rio Mandu rompido e dragagem e limpeza da lagoa da Banana;
- Recuperação do aterro e mudança no projeto das bombas da Av. Airton Sena (Dique1);
- Recuperação de estradas rurais e quatro pontes destruídas;
- Recuperação de vias públicas, galerias, etc.;
- Recuperação da antiga ponte do rio Sapucaí.

5.3 – COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS LEVANTADOS E A SUSCEPTIBILIDADE FÍSICA DOS SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA ÀS INUNDAÇÕES

O presente tópico tem o objetivo de verificar se as informações encontradas no levantamento efetuado nos municípios visitados corresponde à susceptibilidade física apresentada na literatura consultada aplicada a outros países. Além disso, pretende-se apontar as melhorias nos sistemas executadas pelas empresas de modo a compatibilizar a situação de risco vivenciada com estas e a necessidade de reduzir as perdas ocasionadas por inundações. Nesse sentido, fica evidenciada a utilidade de sistemas de alerta que possibilitam a preparação de toda a comunidade diante da iminência de um desastre e com isso redução dos danos.

Em todos os municípios visitados ficou bastante evidente a disposição das companhias e prefeituras em adequar os sistemas instalados a situações de risco vivenciadas por cada município. Assim, após a ocorrência de cada desastre é feita uma avaliação do evento e tomadas providências no sentido de aumentar a proteção dos sistemas. Essas atividades vêm dia a dia contribuindo para a redução dos danos e da fragilidade dos mesmos. Elementos vulneráveis são posicionados em locais protegidos, novas instalações com dispositivos de proteção são colocadas reduzindo sobremaneira os danos sofridos pelas companhias durante e após a ocorrência das inundações.

Nos casos de Itajubá e Santa Rita do Sapucaí são exemplos de atividades de prevenção no sistema de abastecimento de água, o posicionamento de quadros de comando em cotas acima das cotas de inundação e o deslocamento dos motores para locais seguros durante o período mais crítico (de novembro a março) e até mesmo a sua retirada na ameaça de um evento de maior severidade. As travessias instaladas em pequenas pontes são, atualmente, providas de registros em ambos os lados de modo a impedir que no seu rompimento, seja perdida a água armazenada e a contaminação da tubulação pela intrusão de água contaminada.

Na literatura consultada a parte mais vulnerável do sistema são as estações de bombeamento sendo seguida das estações de tratamento uma vez que as mesmas são posicionadas em locais próximos aos rios. Fica comprovada a vulnerabilidade desta parte do sistema, mas percebe-se que, no caso dos municípios do sul de Minas, essa vulnerabilidade foi reduzida tendo em vista

as medidas adotadas. Além disso, foi verificada uma grande vulnerabilidade e susceptibilidade física nas travessias de pequenas pontes, que com o aumento do volume de água escoada e a velocidade da mesma podem ser destruídas, mesmo que as conseqüências da sua destruição consigam ser minimizadas.

No que diz respeito à rede de esgoto, não pode ser comprovada a susceptibilidade física das estações de tratamento uma vez que na capital mineira danos à estação não foram relatados e nos demais municípios pesquisados, a implantação do sistema de tratamento ainda está em fase de concepção e execução. No entanto, a susceptibilidade física das tubulações, que na literatura é classificada como baixa, nos municípios do sul de Minas foi a parte do sistema citada como apresentando a maior fonte de danos. O material construtivo dessas redes (material cerâmico) apresenta uma grande vulnerabilidade na junção de cada dois elementos. Nesses pontos, quando há o rompimento do elemento de ligação após a decompressão da rede quando os níveis de água voltam ao normal, há a intrusão de areia e sedimentos e nesses pontos há o soterramento da cobertura de solo da tubulação e o aparecimento de trincas e até mesmo o rompimento do pavimento sobre os tubos. Nesses casos, a responsabilidade sobre o reparo tanto da rede quanto do pavimento, é da COPASA. Na tentativa de melhorar a situação as redes de esgotamento sanitário e drenagem pluvial têm sido separadas e a tubulação de material cerâmico tem sido substituída.

No que diz respeito ao sistema de drenagem propriamente dito, caso que não se aplica aos municípios do sul de Minas, na capital mineira não houveram referências relacionadas aos danos à rede de tubos. Os danos observados foram aqueles na entradas de bocas de lobo devido ao desgaste do contato com a água e detritos carreados por esta, mostrando, dependendo do material aplicado na sua construção, uma susceptibilidade física baixa.

A literatura ressalta a baixa susceptibilidade física das redes de distribuição de energia elétrica e esta condição é corroborada pelas companhias responsáveis fornecimento desse serviço. Os elementos mais vulneráveis e que são de responsabilidade das companhias energéticas, são os medidores individuais, que quando atingidos pela água devem ser substituídos.

5.4 – SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA A AVALIAÇÃO DE DANOS DIRETOS À INFRAESTRUTURA URBANA

A partir das informações levantadas nas empresas prestadoras de serviços públicos anteriormente citadas e dos relatos dos entrevistados, nesse item encontram-se descritos procedimentos propostos para a avaliação de danos à infraestrutura urbana contemplando os setores de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana, distribuição de energia elétrica e limpeza pública. Para o setor de telefonia não houveram relatos de danos relacionados às inundações, motivo pelo qual não foi proposto nenhum procedimento de avaliação.

A sistemática proposta corresponde, portanto, ao conjunto de procedimentos para cada item, tendo sido elaborada tomando como base o levantamento efetuado, mas presume-se que a mesma possa ser extrapolada para regiões com configuração semelhante dos sistemas. Alguns setores poderão ter sua análise aplicada a situações de ocupação, geográficas e de configuração do sistema diferentes das utilizadas para formulação da presente proposta se os elementos susceptíveis não apresentarem variação de um caso para outro. Outros sistemas deverão ter uma definição específica de material constituinte e ocupação da área em função de particularidades inerentes aos mesmos. Para o desenvolvimento da sistemática proposta optou-se pela configuração de danos diretos por sistema e a indicação da responsabilidade pela correção dos mesmos.

Mesmo considerando a sua importância no montante de danos decorrentes das inundações urbanas, e da possibilidade de avaliação dos mesmos em alguns casos, o dano direto associado a cada sistema é bastante complexo e não foi computado no âmbito desta pesquisa.

5.4.1 – Sistema de abastecimento de água

Para a avaliação dos danos ao setor de abastecimento de água, o mesmo foi subdividido em 3 (três) partes: a captação, a adução e a distribuição de água. A análise dos danos decorrentes das inundações deverá ser precedida da discretização do sistema instalado, possibilitando caracterizar o sistema e os componentes passíveis de dano. Essa caracterização permitirá a identificação das partes do sistema mais susceptíveis a danos e a estimativa dos quantitativos dos elementos a serem reparados e/ou substituídos.

O procedimento proposto para avaliação dos danos ao setor de abastecimento de água encontra-se apresentado na Figura 5.1 e divide o sistema em três subsistemas: captação, adução e distribuição.

A composição da captação de água para abastecimento nos municípios pode prever a utilização de balsas e conjuntos motor-bomba ou instalações de captação instaladas nas margens e adjacências no nível do rio ou em estruturas elevadas em relação a este. Essa informação é imprescindível quando da avaliação dos danos.

Nos municípios visitados, a captação é composta pela balsa e conjuntos motor bomba. Partindo dessa informação, quando a captação for feita com o uso de balsa, esta será sempre considerada danificada, mesmo que o sobrecusto da substituição não seja significativo. Caso não seja utilizada balsa, esse dano não existirá.

Se for utilizada balsa, é necessário avaliar as condições preventivas previstas para os conjuntos motor-bomba. No caso de haver um sistema de proteção para esses elementos de tal forma que os mesmos sejam realocados temporariamente acima da cota máxima de inundação, como relatado para os municípios consultados, prevê-se que apenas um conjunto motor-bomba estará em risco. Assim, estima-se a perda total desse equipamento. Para o caso de não haver sistema de proteção previsto, a partir das informações relativas à quantidade de conjuntos motor-bomba e das suas respectivas potências, o dano estimado será referente a todos os conjuntos instalados.

Normalmente os quadros de comando e transformadores são posicionados acima da cota máxima de inundação estimada ou fora da área passível de inundação. Nesse caso, apesar de ser rara a instalação desses equipamentos em local desprotegido, deve-se verificar o posicionamento dos mesmos e, de acordo com a constatação de risco de submersão, deverá ser prevista a sua substituição.

Com relação ao sistema de adução, não houve relatos de danos na adutora sob pressão. Assim sendo, a sistemática proposta não contempla a substituição dessa parte do sistema.

No que diz respeito à adutora, na maior parte dos municípios consultados houve o

rompimento dessa parte do sistema que estava localizado dentro da mancha de inundação. Assim, propõe-se a substituição de 50% do comprimento do trecho desse elemento dentro da mancha de inundação. A execução dessa atividade precede do conhecimento prévio das suas características (diâmetro e extensão danificada) para a estimativa dos custos de substituição e do tempo necessário para execução dos serviços.

Com relação à rede de condutos, há relatos de aumento no número de manutenções. Essas manutenções correspondem às correções de vazamentos na rede propriamente dita e problemas em registros das unidades individuais.

As travessias de pontes são consideradas bastante vulneráveis nesse sistema. A avaliação dos danos a estes elementos depende da existência de dispositivos de proteção não para o elemento em si, mas em função das conseqüências do seu rompimento para o restante do sistema. Como visto anteriormente, o rompimento das travessias acarretam a despressurização da rede com sua conseqüente contaminação e perda da água tratada armazenada. Dispositivos de isolamento das travessias colocados em locais seguros impedem que o rompimento destas acarrete perdas além dela própria.

A determinação das perdas de travessias procede das informações relacionadas ao número de travessias de pequenas pontes existentes dentro da mancha de inundação considerada, das características dessas travessias (comprimento, diâmetro e material constituinte) e da existência de sistemas de proteção. Além dessas informações, deve ser informado o comprimento da rede atendida pela travessia. Para Itajubá, na enchente de 1991, foram perdidas 40% das travessias de pequenas pontes existentes dentro da área urbana.

Com relação à rede de tubos, considerou-se que as manutenções necessárias após o evento não acarretam, forçosamente, um sobrecusto para a concessionária, uma vez que os contratos de manutenção efetuados já devem incorporar essa atividade.

No caso de haver perda de alguma das travessias haverá necessidade de descontaminação da rede por meio da inserção de água com tratamento adequado em todo o volume correspondente à capacidade de armazenamento do trecho da rede atingido. O custo dos elementos químicos para a limpeza são irrisórios e não será considerado no cômputo dos

danos.

Dessa maneira o levantamento de dados para a estimativa dos danos a este setor está apresentado na Tabela 5.5. Com base nas composições de custos para a sua obtenção são calculados os custos dos danos a este setor.

Tabela 5.5 – Descrição dos elementos do sistema de abastecimento de água para cálculo dos custos dos danos

Captação		
Conjuntos motor-bomba	Quantidade Potência	Custo unitário de substituição em reais
Transformadores	Potência	Custo unitário de substituição em reais
Quadro de comando	Tipo	Custo unitário de substituição em reais
Adução		
Extensão:		Custo por metro linear em reais
Diâmetro:		
Material construtivo:		
Distribuição		
Volume de água armazenada:		Custo do m ³ de água em reais
Travessias	Número:	Custo de substituição por metro linear em reais
	Diâmetro:	
	Extensão:	
	Material construtivo:	
Rede de tubos	Extensão da rede (m)	Custo de limpeza por metro linear de rede em reais
	Volume de água (m ²)	

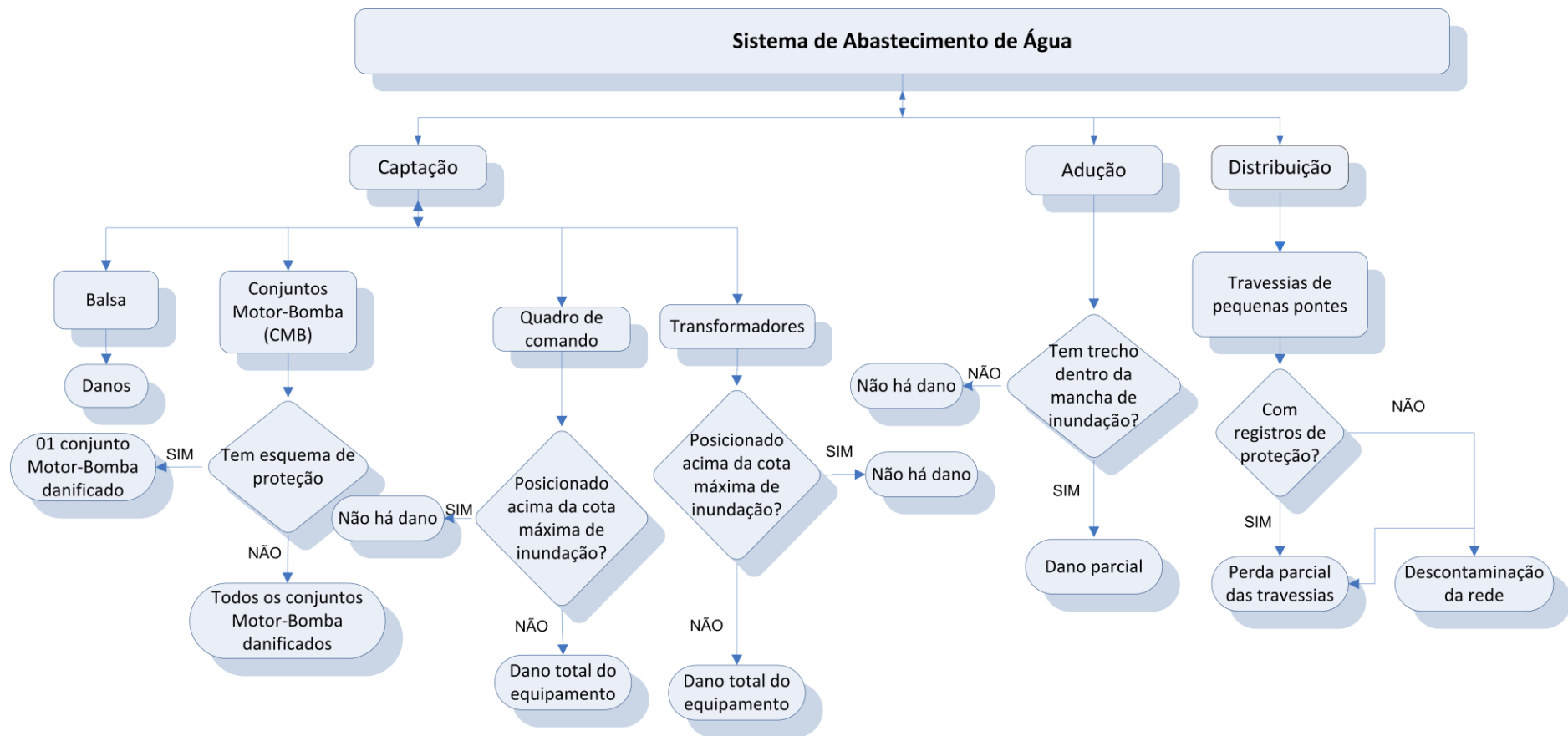


Figura 5.1 – Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de abastecimento de água

5.4.2 – Sistema de esgotamento sanitário

Em se tratando de rede de esgoto, considerou-se separadamente a rede de esgoto sanitário da rede de drenagem. Essa separação, muitas vezes fictícia já que é comum a descarga de esgoto sanitário na rede de drenagem e vice-versa, foi decorrente da análise da responsabilidade, em grande parte das cidades brasileiras, por organismos diferentes pela execução e manutenção dos serviços. No caso do sistema de esgotamento sanitário, normalmente ele é responsabilidade da concessionária de abastecimento de água enquanto que a drenagem fica a cargo do município.

No sistema de esgoto sanitário foram identificados danos essencialmente nos interceptores nas juntas da tubulação. O indicativo do problema é o abatimento do pavimento em pontos da rede exigindo a substituição do trecho da rede danificado e a recomposição do pavimento. Nesse trecho, normalmente paralelo às margens do rio, a pressão exercida pela água que entra na tubulação pelos poços luminares e demais aberturas da rede faz com que esta entre em colapso e ocorram trincas em pontos do trecho mais sobrecarregado em virtude da subpressão posterior.

Para a cheia de 2007 em Itajubá foram identificados 17 pontos onde houveram abatimentos do pavimento ocasionados por problemas na rede de esgoto. Os comprimentos das correções necessárias ao pavimento variaram de 3 a 946 metros num total de 1574 metros. Todos os pontos identificados ocorreram no trecho do interceptor ou próximo a ele, ocasionando abatimento de valas do interceptor e nos poços de visita da região. Os danos ocorridos no pavimento nesse trecho da rede são de responsabilidade da COPASA. Em outros municípios a companhia responsável pela prestação desse serviço é responsável pelo reparo das vias e da rede.

Segundo o relatório da COPASA, para a cheia de 2007 para Itajubá e pelos relatos de Mota (2008) no período chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro) a quantidade de manutenções tanto na rede de água quanto na rede de esgoto são o triplo do número de manutenções observados no restante do ano. A estimativa na quantidade de serviços de manutenção na rede pode ser calculada, mas existe uma dificuldade adicional no estabelecimento de uma correlação entre os locais que necessitam de manutenção e as características físicas locais e a mancha de inundação, o que inviabiliza o cômputo dos danos a partir do número de

manutenções. Além disso, a mesma consideração em se tratando do contrato de manutenção com outra empresa citado no item 5.4.1 pode ser aplicado a este caso.

Diante dessas observações optou-se por determinar os danos ao setor de esgotamento sanitário tomando como base a extensão e a constituição do interceptor e na limpeza da extensão da rede existente dentro da mancha de inundação. Para o caso do interceptor estima-se a troca de parte da rede e recuperação do pavimento equivalente a 5% do comprimento total do interceptor dentro da mancha de inundação tomado como base os danos registrados na cheia de 2007 para Itajubá fornecidos pela COPASA.

Para execução da limpeza de areia e sedimentos que entram na rede tomou-se como base os relatos dessa tarefa executada pela COPASA após a cheia de 2000 na qual foi feita a descrição do tempo de trabalho diário do equipamento utilizado e a duração do processo, permitindo assim, o estabelecimento do rendimento do equipamento para limpeza de cada metro linear de rede. Para a determinação dos custos de limpeza foi considerado o comprimento da rede inserido dentro da mancha de inundação com exceção do comprimento equivalente ao interceptor substituído.

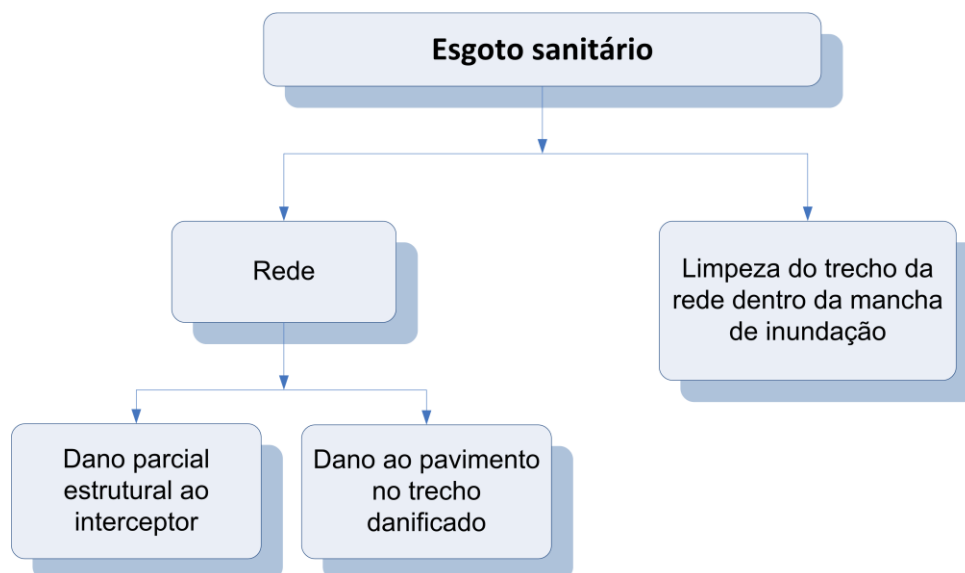


Figura 5.2 – Fluxograma de funcionamento do procedimento de avaliação de danos ao sistema de esgotamento sanitário

A Figura 5.2 apresenta um esquema do procedimento proposto para avaliação de danos a este setor enquanto que a Tabela 5.6 descreve o conjunto de dados necessários para a

execução da avaliação.

Tabela 5.6 – Descrição dos elementos do sistema de esgotamento sanitário para cálculo dos custos dos danos

Rede		
Extensão do interceptor	Substituição de 5% da rede no trecho do interceptor Custo de substituição por metro de rede	Custo de substituição da rede
Diâmetro do interceptor		
Material construtivo do interceptor		
Pavimento		
Material construtivo	Recomposição do aterro, base e pavimento Custo por m ² em reais	Custo de recomposição do pavimento
Profundidade de recuperação		
Limpeza		
Comprimento da rede dentro da mancha de inundação	80m de rede por hora Custo do equipamento por hora de trabalho	Custo total de limpeza em reais
Número de horas de trabalho do equipamento		

5.4.3 – Sistema de drenagem de águas pluviais urbanas

A definição dos danos ocasionados ao sistema de drenagem das águas pluviais por ocasião das inundações foi feita pela comparação entre os valores obtidos nas entrevistas a Santa Rita do Sapucaí, Itajubá e Belo Horizonte. Para a composição foi feito um levantamento a partir da cheia ocorrida em janeiro de 2009 na capital mineira.

Para a estimativa dos danos foi utilizada a distribuição dos elementos constituintes do sistema definido por Moura (2004) que prevê 0,02 bocas-de-lobo (02 bocas-de-lobo a cada 100 metros de rede) e 0,01 poço de visita (01 poço de visita a cada 100 metros de rede) por metro linear de rede.

Para a regional do Barreiro em Belo Horizonte foi disponibilizado um mapa com a localização aproximada dos locais mais afetados pela inundação. A partir desse mapeamento foi feita a estimativa dos comprimentos de vias danificadas. Essa mesma regional informou que 40 bocas-de-lobo foram danificadas com necessidade de reparos e algumas grelhas perdidas em virtude do evento. Juntamente com o mapeamento das áreas inundadas executado pela Defesa Civil de Belo Horizonte foi possível estabelecer uma correlação entre a quantidade de componentes da rede de drenagem danificados dentro da área.

A confirmação da proporção de elementos com necessidade de reparos para o Barreiro foi feita tomando como base as entrevistas realizadas com funcionários da COPASA dos municípios de Itajubá e Santa Rita do Sapucaí. Ao determinar a relação de elementos da rede danificados para esses municípios foi possível confirmar que os valores encontrados nas estimativas estavam na mesma ordem de grandeza, apresentando, assim, coerência na análise efetuada.

Todas as determinações tiveram como base a extensão da mancha de inundação dentro dos municípios e os relatos dos danos para os respectivos eventos. Para Santa Rita do Sapucaí e Itajubá foi possível correlacionar os danos com os mesmos eventos. Já para o caso de Belo Horizonte, os dados encontrados foram do evento de inundação mais recente.

No que diz respeito ao material construtivo das redes, para aquelas construídas em material cerâmico espera-se uma frequência de dano maior do que naquelas constituídas de tubos de concreto, PVC ou PAD (Polietileno de Alta Densidade). Em caso de utilização destes estima-se que os danos à rede sejam irrelevantes no processo, podendo ser descartados da análise.

Mesmo tendo sido relatados casos de danos em canais e galerias, não foi possível encontrar com base nos relatos e dados levantados, situações que indicassem a ocorrência desses danos para qualquer evento de inundação. Estão incluídas nesses casos as margens de rios e córregos urbanos.

Vários outros custos não encontram-se relacionados e não são catalogados ou permanecem na memória dos responsáveis pela manutenção porque são objeto de contratos de manutenção feitos com empresas de engenharia. No início de cada ano é feita a contratação dessas empresas para a execução de serviços de manutenção tais como limpeza de bocas-de-lobo não erodidas e outros serviços do gênero.

Para a estimativa dos custos de limpeza e desobstrução da rede tomou-se como base os dados fornecidos pela COPASA para a cheia de 2000 no município de Itajubá no qual foram utilizados 3 (três) equipamentos de hidro-vácuo para a retirada de resíduos na parte da rede dentro da área de inundação por um período de aproximadamente 90 (noventa) dias

trabalhando 10 (dez) horas por dia.

Assim, para avaliação dos danos ao sistema de drenagem é recomendado o conhecimento dos seguintes elementos:

- Características da rede:
 - comprimento total
 - comprimento da rede dentro da mancha de inundação;
 - material construtivo;
 - diâmetro médio.
- Características do pavimento
- Características das bocas-de-lobo;
- Características dos poços de visita;

Após as verificações feitas, sugere-se então, para análise dos danos a este sistema, a consideração de danos em 20% (vinte por cento) das bocas de lobo e poços de visita inseridos dentro da mancha de inundação. Além destes, estima-se o rendimento de um equipamento para limpeza em 80 metros de rede por hora.

Para a recuperação de bocas de lobo e poços de visita foi considerado no reparo aos elementos de concreto e argamassa de acabamento, as tampas e grelhas utilizadas dependendo do tipo do elemento, e uma faixa de pavimento do tipo do revestimento da via ao redor dos elementos.

Além desses danos pode ocorrer a perda de tampas e grelhas de poços de visita dentro da mancha de inundação em virtude da pressão exercida pela água nesses elementos. Pelos relatos da regional do Barreiro em Belo Horizonte, 4 (quatro) grelhas de poços de visita desapareceram o que corresponde a 20% do total de poços de visita estimados dentro da mancha de inundação para a área.

O fluxograma da Figura 5.3 apresenta esquematicamente a procedimento proposta e a Tabela 5.7 o detalhamento dos custos necessários para a estimativa dos danos.

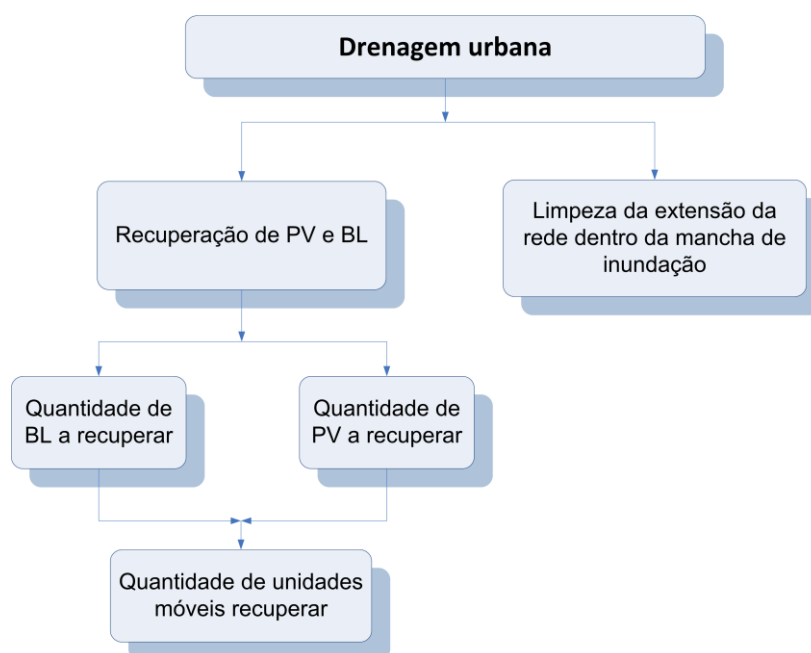


Figura 5.3 – Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de esgotamento sanitário e drenagem urbana

Tabela 5.7 - Descrição dos elementos do sistema de drenagem para cálculo dos custos dos danos

Rede		
Comprimento da rede dentro da mancha	- cerâmica: abatimentos localizados (sem condição de correlação para substituição do pavimento e da rede) - PVC, concreto, PAD sem danos	
Material construtivo da rede		
Diâmetro médio da rede		
Identificação do revestimento do pavimento		
Elementos danificados		
Número de bocas de lobo	0,02 un/m	Custo unitário em reais correspondente ao número total de elementos danificados dentro da mancha de inundação
Número de poços de visita	0,01un/m	
Tipo de boca de lobo (com grelha, tampa, etc) e poços de visita	20% de perda de elementos móveis a partir do número de PV e BL dentro da mancha de inundação	
Limpeza		
Comprimento da rede dentro da mancha	- Rendimento médio do equipamento: 80m de rede/h - Quantidade de sedimentos removidos por dia - Custo dos equipamentos	Custo de limpeza em reais
Número de equipamentos de limpeza disponíveis		
Número de horas de trabalho por dia		
Custo de uso do equipamento por hora		

5.4.4- Sistema de distribuição de energia elétrica

A avaliação dos danos ao sistema de distribuição de energia elétrica, em função do levantamento efetuado, é bastante simples. Uma vez que existe uma pequena susceptibilidade física dos componentes do sistema às inundações, o único dano real representativo deste sistema são os medidores das unidades consumidoras. Mesmo havendo relatos de queda de postes, ficou bastante clara a idéia de que isso não chega a ser representativo em área urbana, o que não pode ser dito da área rural.

Assim, o fluxograma da Figura 5.4 e a Tabela 5.8 ilustram o procedimento proposto para a avaliação dos danos a este setor. Esse procedimento considera que todos os medidores das unidades consumidoras inseridas dentro da mancha de inundação com altura de água de 1,5m ou superior necessitarão de serem substituídos, se não imediatamente após a enchente, em futuro próximo.

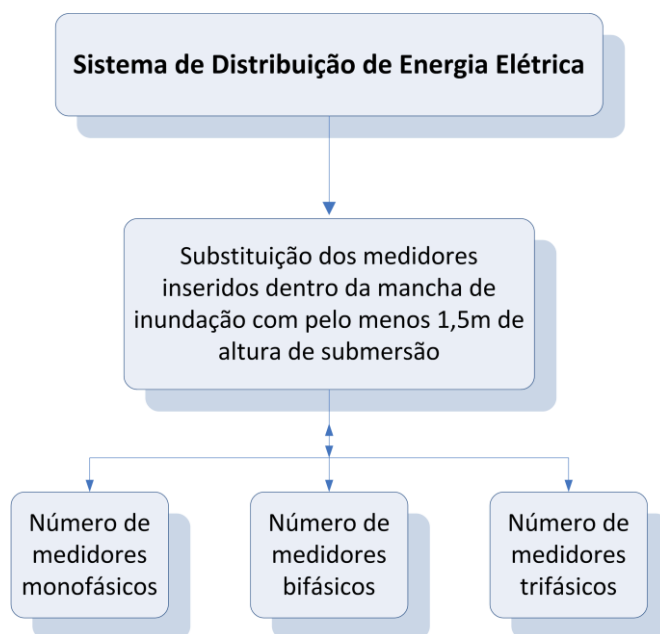


Figura 5.4 – Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de distribuição de energia elétrica

Para a avaliação dos danos então, são necessárias as seguintes informações:

- Área da superfície inundada com pelo menos 1,5m de profundidade;
- Número de unidades consumidoras dentro da mancha de inundação;
- Para o cálculo do número de unidades consumidoras será utilizada a densidade populacional considerando cada habitação com 4 (quatro) pessoas em média de modo a

considerar que existem dentro da área inundada, edifícios residenciais cujos medidores localizam-se no pavimento térreo do edifício;

- Estimativa da média de custo dos medidores monofásico, bifásico e trifásico;
- Estimativa da porcentagem de medidores de cada categoria de medição.

Tabela 5.8 - Descrição dos elementos do sistema distribuição de energia elétrica para cálculo dos custos dos danos

Distribuição de energia elétrica		
Superfície inundada com 1,5m de profundidade ou maior	Número de UC's dentro da mancha de inundação	Custo de substituição de todos os medidores em reais
Densidade habitacional na área		
Porcentagem de medidores monofásicos dentro da área	Custo unitário do equipamento em reais	
Porcentagem de medidores bifásicos dentro da área	Custo unitário do equipamento em reais	
Porcentagem de medidores trifásicos dentro da área	Custo unitário do equipamento em reais	

5.4.5 – Sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos

Para a elaboração desse tópico da sistemática proposta considerou-se como responsabilidade do serviço de limpeza urbana do município, a retirada de móveis e demais objetos perdidos pela água nas residências depositados nas calçadas após a inundação, e a remoção dos sedimentos e lixo carreados durante a mesma que ficaram dispostos nas ruas, calçadas e áreas desocupadas do município. Outra consideração feita para determinação da área de contribuição de resíduos para limpeza foi que os imóveis atingidos por uma altura de água inferior a 50cm não produziram resíduos a serem coletados.

As informações utilizadas para a formulação da sistemática para esse setor foi baseada no levantamento efetuado em Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre. Para tanto considerou-se que houve a produção de um volume correspondente a 1 (um) caminhão basculante de detritos (móveis, utensílios domésticos, mantimentos, etc) por residência. No período pós-cheia, no município de Santa Rita do Sapucaí, foi estimado o volume de sedimentos e lixo coletado nas vias públicas do município relacionando o maquinário disponível, o rendimento destes e o tempo de duração dos trabalhos de limpeza. A correlação entre a capacidade de trabalho do maquinário com a área inundada permitiu a extrapolação dos

resultados encontrados para outros municípios. Acredita-se que não haja grande alteração nos volumes determinados de um município para outro, a não ser que sejam observadas particularidades que possam indicar uma grande redução ou grande aumento dos detritos existentes.

A análise proposta para a estimativa da quantidade de detritos a serem removidos das ruas após uma enchente foi feita tomando como base os relatos feitos em Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre, nos quais convergiu a idéia de que foi retirado de cada residência atingida, pelo menos 01 (um) caminhão de entulho. Esses resíduos são normalmente, lançados nas calçadas e posteriormente são removidos pelos órgãos de limpeza municipais.

Os relatos da prefeitura de Santa Rita do Sapucaí foram detalhados no sentido de informar o maquinário utilizado para efetuar a limpeza da cidade e o tempo de duração da operação. A partir da quantidade e do maquinário utilizado foi possível estimar o volume de material produzido. Para a cheia de 2000 foram utilizados: 3 carregadeiras; 2 retro-escavadeiras; 3 patrols; 4 tratores; e 40 caminhões entre carga seca e basculantes. Os relatos indicaram, também, que em Santa Rita foram atingidas 4200 residências durante a cheia de 2000.

A estimativa do volume de material recolhido que posteriormente possibilita a sua extrapolação para qualquer outro município foi feita de acordo com Moura (2009). Para essa estimativa considerou-se os modelos e as capacidades mais comuns das máquinas usadas pelas prefeituras. Dentro dessa perspectiva, na ausência da distância a ser percorrida para o descarte do material coletado e na ausência do tipo dos caminhões usados, a estimativa foi feita mediante a capacidade de material removido pelo maquinário listado. Foi considerado que as motoniveladoras e tratores foram usados para limpar ruas e amontoar material para o carregamento pelas pás-carregadeiras e a caçamba frontal das retro-escavadeiras. Assim, para uma capacidade de $57\text{m}^3/\text{h}$ para as retro-escavadeiras e de $112\text{m}^3/\text{h}$ para as carregadeiras, obteve-se um volume total de $450\text{m}^3/\text{h}$. Considerando o trabalho durante 24 horas num período de 7 dias, o volume total removido é de 75.600m^3 .

Considerando que cada residência gerou 1 caminhão de 6m^3 de entulho de móveis e etc, o restante do volume removido corresponde ao volume de sedimentos e demais resíduos produzidos na área pública da cidade. Com base na área da cheia de 2000 para Santa Rita

estimou-se que o volume de material retirado dos logradouros públicos é de $15270\text{m}^3/\text{km}^2$ dentro da área inundada, podendo este valor ser extrapolado para outras situações.

A Figura 5.5 e a Tabela 5.9 apresentam de forma resumida o processo de determinação dos custos gerados pela limpeza após a inundação.

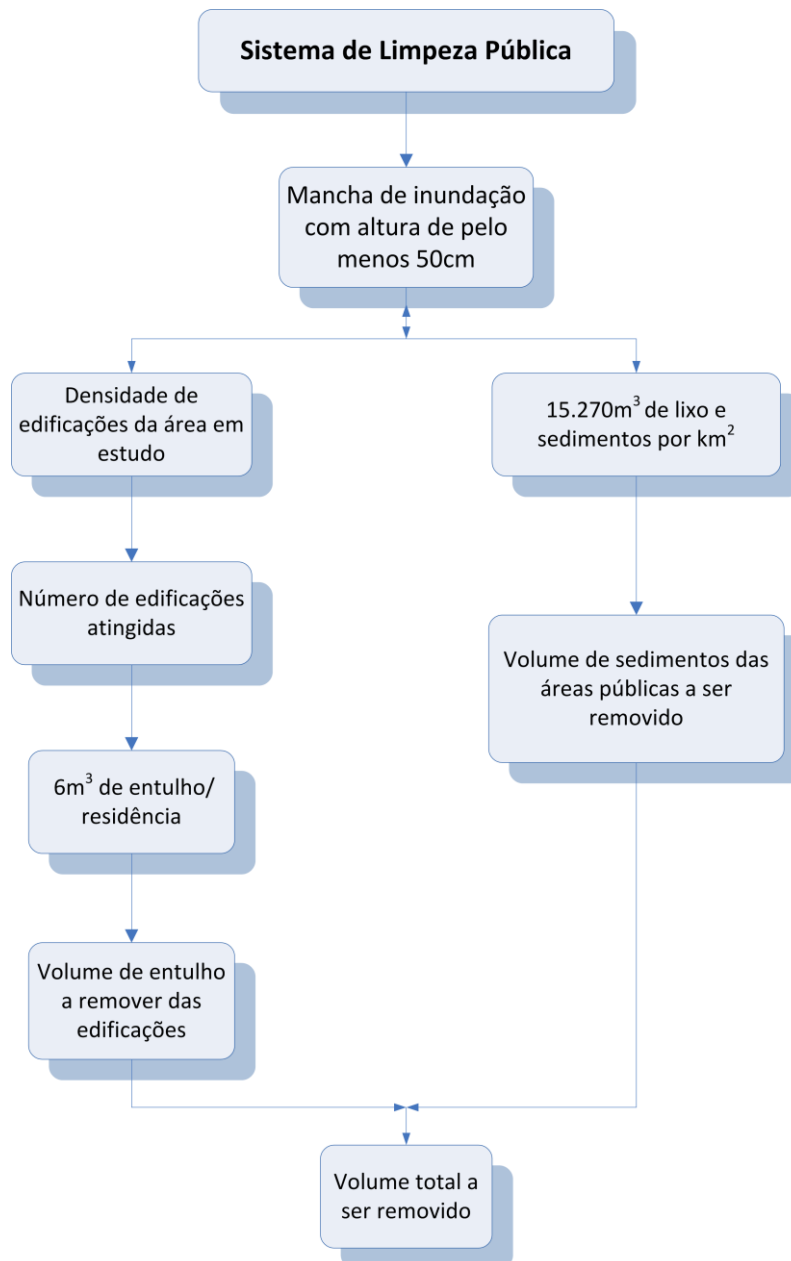


Figura 5.5 – Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos

Tabela 5.9 - Descrição dos elementos do sistema limpeza urbana para cálculo dos custos dos danos

Limpeza pública		
Superfície inundada com pelo menos 0,5m de profundidade (km ²)	Estimativa de volume gerado por residências	Custo total de remoção dos entulhos
Número de habitações dentro da mancha considerando 4 hab/moradia		
Cálculo do volume de sedimentos (m ³)	15270m ³ /km ²	
Modelos da máquinas	Custo dos equipamentos para recolhimento do volume de entulho gerado	
Rendimento das máquinas (m ³ /h)		
Número de horas de trabalho por dia		
Distância média para descarte do material (km)	Custo do transporte do material	
Capacidade do caminhão (m ³)		
Número de horas diárias de trabalho		

5.4.6 - Sistema viário

O sistema viário, assim como o sistema de limpeza pública, é de responsabilidade do município. Este sistema foi o que apresentou o maior número de relatos mas também as maiores diferenças nas estimativas, tornando mais difícil a sua avaliação mesmo a partir de premissas definidas antes da mesma.

A base de desenvolvimento da análise dos danos ao sistema viário foi constituída a partir dos AVADAN fornecidos pelos órgãos de defesa civil de Belo Horizonte, Itajubá e Santa Rita do Sapucaí, além do documento da cheia de 2000 para Pouso Alegre produzido pela prefeitura do município, dos documentos da regional do Barreiro em Belo Horizonte e dos relatos feitos nestes municípios.

Pela análise dos documentos obtidos e dos relatos foi possível concluir que grande parte dos danos ao sistema viário ocorrem na área onde a declividade é alta e não existe rede de drenagem. No caso de Itajubá uma característica marcante possibilitou uma outra conclusão: praticamente toda a área sujeita a inundação possui declividade extremamente baixa, com valores inferiores a 1%. Assim, uma das premissas da análise do sistema viário foi exatamente a permanência de água por um intervalo de tempo grande na área inundada fazendo com que ocorra a saturação e o descolamento da base do pavimento.

Em função dos comprimentos correspondentes da rede de Itajubá, dos comprimentos de

vias medidos para Santa Rita do Sapucaí e do comprimento total de vias do Barreiro, foi estimada a densidade de vias por quilômetro quadrado para cada região, tendo sido encontrados valores bastante próximos para Santa Rita e Itajubá. A área ocupada por vias em cada situação foi calculada estimando-se uma largura média de 12 (doze) metros para uma largura usual para as vias nos municípios do sul de Minas Gerais e para ruas fora da área central da capital mineira.

Após a estimativa da área ocupada pelas vias foi estimada a área de vias dentro das manchas de inundação. A partir daí foi feita a comparação entre o total de área ocupada por vias públicas com os relatos de danos às vias feitos pela Defesa Civil para as três regiões supra citadas. Tomou-se como base os AVADAN de 2000 e 2007 para Itajubá, o AVADAN de 2007 para Santa Rita do Sapucaí e os relatos do representante da COPASA e da prefeitura na época da cheia de 2000. A estimativa feita para esse dois municípios apresentou uma variação de 9,9% até 6,0% respectivamente para Itajubá e Santa Rita do Sapucaí para a área ocupadas por vias que encontraram-se danificadas após os eventos de inundação citados. Para o Barreiro foi encontrado um valor equivalente a 17% da área ocupada por vias danificada, mas a amostragem apresentada para este último não trazia detalhes sobre a localização exata dos pontos danificados, mas apenas a identificação das ruas que necessitaram de reparos. Ainda no caso do Barreiro, algumas informações foram descartadas da análise por apresentarem valores inconsistentes com a ocupação da área por vias e a estimativa de danos, julgando que os dados apresentados não se referissem apenas à região inundada no evento de janeiro de 2009, mas sim a reparos em outras áreas por ocasião do período chuvoso.

Ao final da análise deste sistema, a partir dos resultados encontrados, considerou-se viável a adoção de uma porcentagem equivalente a 10% da área ocupada por vias dentro da mancha de inundação que necessitarão de reparos.

Considerou-se pertinente a não exclusão dos trechos do pavimento de vias corrigidos pela concessionária responsável pelo sistema de esgoto uma vez que pode haver necessidade de recomposição do pavimento para uniformização da via.

Considerou-se, também, que ao incluir globalmente a área foram atendidas as duas

situações propícias ao dano relativas à declividade.

Assim, para se avaliar os danos diretos observados no sistema viário em virtude das inundações é necessário, primeiramente, caracterizar o sistema em relação ao material construtivo dos mesmos e a densidade de vias na região em estudo.

A Tabela 5.10 apresenta, então, a descrição das informações para a determinação dos danos ao sistema viário.

Tabela 5.10 - Descrição dos elementos do sistema viário para cálculo dos custos dos danos

Sistema viário		
Proporção de vias em relação à área (km de via/km ²)	Característica do sistema	
Largura média das vias (m)	Área de vias danificadas em m ²	Custo total dos prejuízos às vias terrestres em reais
Área inundada (km ²)		
Determinação de 10% da área ocupada pelas vias em (m ²)		
Revestimento usado na pavimentação característico da área	Custo de reparo e / ou substituição do trecho danificado por m	

5.5 – CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

O presente capítulo apresentou as considerações e a fundamentação para proposição de uma sistemática de avaliação de danos à infraestrutura urbana baseada em levantamento bibliográfico e em entrevistas às concessionárias e órgãos responsáveis pelas atividades de recuperação e socorro às vítimas.

A sistemática proposta foi elaborada de tal forma que de posse dos parâmetros das inundações tais como a extensão e a profundidade de submersão, e a constituição de cada sistema seja possível estimar os danos aos mesmos em valores monetários.

A elaboração da sistemática tem o objetivo de ampliar o espectro da análise financeira relacionada à implantação de alternativas de controle de inundações urbanas e foi validada pela sua aplicação num estudo de caso que encontra-se descrito em capítulo subsequente.

6.0 – PROPOSIÇÃO DE SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CENÁRIOS PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÕES

As características e possibilidades em trabalhar com informações muitas vezes conflitantes levaram ao interesse do uso de indicadores para avaliar o desempenho de cenários compostos por medidas de controle de inundações adotadas, isoladamente ou em conjunto.

Assim, a fim de definir quais os critérios preponderantes para tratar o problema das inundações em zonas urbanas e nortear a busca de soluções para o problema, buscou-se na literatura os elementos indispensáveis na análise, de modo a definir critérios e um grupo de indicadores ligados a esses critérios.

Uma preocupação, no momento da formulação desses elementos, foi a utilização de informações disponíveis pelos órgãos de planejamento das prefeituras uma vez que a escala de atuação da metodologia proposta se insere na esfera do planejamento urbano municipal tomando o ponto de vista do decisor ou planejador. A escala física de aplicação dos indicadores é variável, desde uma bacia hidrográfica até uma unidade territorial de um bairro do município. Os indicadores propostos combinam informações físicas da área em questão obtidos por levantamento de campo, parâmetros de inundação obtidos por modelagem hidrológica e hidráulica e pela manipulação de fotografias aéreas ou imagens de satélite.

No presente estudo, a escala de trabalho definida compreende uma bacia ou sub-bacia hidrográfica urbana, que após a construção de cenários para o controle de inundações propõe-se avaliar o comportamento dos mesmos a partir de três critérios: impactos ambientais e de saúde pública, impactos sociais e impactos hidrológicos a jusante definidos, a partir das considerações a seguir. Definidos os critérios foram propostos onze indicadores de vulnerabilidade que buscassem traduzir os efeitos das inundações sobre o meio ambiente e sobre a população assim como o impacto produzido pela introdução dos cenários sobre a população e sobre o meio ambiente. Conforme a definição feita no Capítulo 4 desta tese, os critérios e os indicadores que comporão o sistema de auxílio à decisão proposto e as reflexões para sua definição encontram-se descritas no texto seguinte.

6.1 – REFLEXÕES PARA A PROPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS E INDICADORES

O gerenciamento das águas pluviais urbanas apresenta particularidades entre países em função das características de desenvolvimento das cidades. Parkinson e Mark (2005), em um estudo realizado com dados de diversos países em desenvolvimento, dentre eles o Brasil, apresentam de maneira bastante clara e objetiva, o intuito da introdução das medidas de controle de inundações e seus efeitos a curto, médio e longo prazos em aglomerações urbanas.

Dentre as medidas com resultado a curto prazo estão as atividades direcionadas à proteção contra inundações cujo intuito é o de reduzir sua incidência, prevenir danos e reduzir os riscos para a população; a proteção da saúde ambiental pela eliminação de águas paradas e redução do perigo de doenças transmitidas por vetores alados; e o controle da erosão e da sedimentação a jusante pela redução da instabilidade de encostas e da perda de solo de áreas em construção.

Como medidas de resultado a médio prazo estão aquelas relacionadas à prevenção, controle e mitigação da poluição pela preservação ou realce do ecossistema do corpo receptor; a proteção da qualidade da água por meio da redução da descarga de poluentes; a conservação da água pela regeneração natural da superfície de rios e lagos e a recarga da água subterrânea; e a promoção do reuso da água. Além destas, são consideradas como medidas com resultado a médio prazo, aquelas relacionadas à preservação da hidrologia natural que visam reduzir as modificações nos cursos d'água naturais, preservar os leitos de inundação e buscar a reprodução dos regimes de escoamento naturais relacionados às condições de pré-desenvolvimento.

Resultados a longo prazo são obtidos pela integração das medidas de controle ao projeto paisagístico; a criação de ambientes mais saudáveis e a promoção de atividades recreacionais; a proteção dos habitats naturais com a proteção da biodiversidade e preservação e reestruturação da fauna e da flora; e a conservação de recursos por meio da minimização do consumo de energia.

Norotte *et al.* (1998) recomendam, ainda: o reconhecimento e a proteção, na zona de inundação, de estabelecimentos poluentes ou em risco nas inundações; a proteção de

estabelecimentos sensíveis de acolhimento público tais como centros de socorro e vias de acesso importante. Este documento ressalta ainda, a plurifuncionalidade de espaços públicos como uma forma de reduzir o consumo de espaços e permitir, na maior parte dos casos, uma melhor rentabilidade econômica do investimento, além de facilitar a integração das obras na vida social da região e permitir outros usos.

Um apanhado das necessidades e das interfaces do problema das inundações em áreas urbanas encontra-se no texto a seguir. Os aspectos abordados direcionaram a proposição dos critérios e dos indicadores. Embora vários dos aspectos tratados aqui tenham sido abordados por Castro (2002), os objetivos dos dois estudos são bastante diferenciados, o que impossibilitou o uso dos indicadores já formulados.

6.1.1 - Aspectos Sanitários e de Saúde pública

Segundo Parkinson e Mark (2005), os problemas de saúde ligados à estação chuvosa estão relacionados à deterioração das condições de saúde, sanitárias e ambientais consequentes de uma drenagem deficiente. A água que escoar pela superfície durante os eventos de inundação contamina-se pelo conteúdo de tanques sépticos, latrinas e redes coletoras de águas residuárias, e passam a ser, então, disseminadoras de doenças das quais as mais comuns são a leptospirose, a febre tifóide, a hepatite A, as diarreias e as helmintoses intestinais (Kolsky, 1999 *apud* Souza, 2001).

A contaminação direta pela ingestão de patógenos pode ocorrer:

- Pela intrusão das águas pluviais contaminadas no ambiente residencial;
- Pela contaminação do suprimento de água devido à infiltração de águas residuárias em tubulações que operam em condições de baixa pressão devido à operação intermitente de bombas ou decorrentes de falhas de energia devido à inundação;
- Por águas provenientes diretamente de cursos d'água poluídos por descargas de águas pluviais contaminadas que são usadas no preparo de alimentos, limpeza e banhos;
- Pelo corpo e vestimentas de indivíduos que andam pelas águas de inundação e levam os elementos patogênicos para o ambiente doméstico;
- Pela dispersão de ovos de helmintos no solo; e
- Pelo desenvolvimento de criadouros de mosquitos e caramujos transmissores de doenças (Parkinson e Mark, 2005 e Kolsky, 1999 *apud* Souza, 2001).

São relacionadas a eventos chuvosos intensos as gastroenterites decorrentes da ingestão de

bactérias e ovos de helmintos contidos nas águas contaminadas, a infecção por parasitas, as doenças transmitidas por mosquitos e as doenças transmitidas por ratos e caramujos (Parkinson e Mark, 2005).

Estão associadas à ingestão de água contaminada a febre tifóide, a hepatite A, as diarreias e as helmintoses. Segundo Fashuye (1988) *apud* Souza (2001) estas doenças estão associadas à grande concentração populacional, à falta de planejamento urbano relacionada à carência de serviços de drenagem, e à ausência de redes de abastecimento de água e de sistemas adequados de coleta das águas residuárias.

A leptospirose é decorrente do contato da água com a urina do rato de esgoto. Azevedo e Correia (1968) e Carneiro (1997) *apud* Souza (2001) evidenciaram a correlação entre uma epidemia de leptospirose com o contato com a água e a lama de inundação. O estudo relaciona, ainda, o número de doentes à duração da inundação observando um aumento do número de casos com o aumento no tempo de exposição da população à inundação ou à água contaminada. De acordo com Carneiro (1997) *apud* Souza (2001) há um aumento variando entre 4% e 14%, no número de casos da doença para inundações de durações de 24 a 48 horas e de 48 a 72 horas, respectivamente. Outra constatação do autor foi o aumento do número de casos da doença com a altura alcançada pela água de inundação. Dentre os resultados foi observado um aumento de 3% dos casos se a água chegar à altura dos joelhos, um aumento de 7% se chegar à altura das janelas e mais 6% se a altura da lâmina d'água de inundação estiver acima da altura das janelas.

Dentre as doenças transmitidas por mosquitos estão a dengue e a dengue hemorrágica, a malária urbana, a febre amarela urbana e a filariose. Kolsky (1999) e Carnicross *et al.* (1988) *apud* Souza (2001) relacionam a presença de vetores alados disseminadores de enfermidades a locais com pequenos empoçamentos, tais como lajes de telhados e depósitos sem telhas ou outro tipo de proteção. No que diz respeito à filariose, dentre os ambientes favoráveis à proliferação do mosquito responsável pela sua disseminação estão os terrenos alagados, poços abandonados, empoçamentos resultantes do lento processo de infiltração da água e a existência de canais naturais não retificados com vegetação abundante. Com relação ao mosquito disseminador da febre amarela urbana e dengue, Nascimento Júnior (1999) relaciona a sua ocorrência à existência de poços de visita, canais

e bocas de lobo, ou qualquer tipo de escavação feita no solo servindo como conduto livre.

Para o combate à malária, FUNASA e OPAS (1999) *apud* Souza (2001) apresentaram como medidas de controle as obras de drenagem com vistas ao rebaixamento do lençol freático e a eliminação de áreas alagadas. FUNASA (1999) *apud* Souza (2001) elenca essas medidas partindo de duas frentes de ação. A primeira delas interfere no ciclo biológico do mosquito e corresponde às ações de limpeza urbana e limpeza de leitos e margens de cursos d'água. Outra medida diz respeito regularização do escoamento de modo a eliminar alagamentos por meio da retificação e o revestimento de canais, e a construção de obras de arte.

A contaminação das águas pluviais também pode ocorrer pelo contato desta com matéria tóxica encontrada em diferentes estabelecimentos tornando-se assim, fonte de poluição difusa. As legislações que regulam a ocupação das margens de rios e córregos urbanos, definem as zonas onde podem ser instalados esses estabelecimentos. Normalmente é vetada a instalação, nas zonas inundáveis, de estabelecimentos de risco, mas mesmo assim, algumas atividades aparentemente inofensivas, podem se tornar fonte de poluição difusa durante os eventos de inundação com sérios danos à saúde da população e ao meio ambiente. Nesse contexto merecem atenção os estabelecimentos, dentro da área de inundação, relacionados a:

- Farmacologia, hospitais e laboratórios de análises clínicas;
- Postos de combustíveis;
- Indústria e comércio de produtos agropecuários;
- Indústria e comércio de produtos químicos;
- Aterro sanitário e usina de compostagem de lixo;
- Estação de tratamento de esgoto.

6.1.2 – Aspectos morfológicos, hidrológicos e ambientais

As intervenções decorrentes da ocupação da bacia hidrográfica trazem consigo impactos no meio físico como um todo. No que diz respeito ao curso d'água, para cada modificação de uma das suas variáveis de equilíbrio segue um ajuste em cadeia em diferentes escalas de tempo. Essas alterações não se limitam às modificações introduzidas diretamente na calha principal do rio, mas sim no contexto que o mesmo abrange. Os efeitos das intervenções dependem do tipo e da intensidade das modificações introduzidas no meio. A geometria do

leito do curso d'água apresenta ajustes em diferentes escalas de tempo e espaço, de acordo com as modificações introduzidas. Dentre as variáveis de ajuste do curso d'água estão: o perfil longitudinal; a geometria do leito; a cobertura vegetal; a carga em trânsito; e os picos de cheia de fracos a médios, sendo que nos mecanismos de equilíbrio, a vegetação das margens apresenta um papel chave (Couvert *et al.*, 1999).

Alguns autores consideram a potência hidráulica como um descritor morfodinâmico do curso d'água. Brooks (1988) *apud* GRAIE e Agences de l'Eau RMC (1999) utiliza a potência unitária como uma medida para avaliar a capacidade do curso d'água de se recuperar frente às modificações. Segundo este autor, com uma potência unitária abaixo de 35 W/m^2 um curso d'água não seria capaz de se auto-ajustar frente às intervenções sofridas. De acordo com Brandt (2000), a potência hidráulica na seção pode ser expressa pela Equação 6.1 e a potência unitária pela Equação 6.2.

$$\Omega = \rho g Q S \quad (\text{Eq. 6.1})$$

Onde:

Ω - potência hidráulica por unidade de comprimento do rio (m/s^2)

ρ - densidade da água (kg/m^3)

g - aceleração da gravidade (m/s^2)

Q - vazão (m^3/s)

S - declividade (m/m)

$$\Phi = u S \quad (\text{Eq. 6.2})$$

Onde:

Φ - potência unitária (m/s)

u - velocidade do fluxo (m/s)

Degoutte (2001), numa análise do efeito individual das alterações impostas à planície de inundação, sem considerar o contexto do curso d'água e sua capacidade de adaptação, aponta alguns dos impactos esperados por algumas atividades:

- Retiradas no leito menor podem ocasionar erosão a montante ou a jusante chegando à

- desestabilização das margens; retiradas permanentes causam erosão progressiva e regressiva com consequências irreversíveis se for atingido o substrato rochoso;
- Alargamento do leito sem modificação da rugosidade pode causar erosão regressiva a montante, deposição na extensão do trecho modificado e erosão progressiva a jusante do mesmo;
 - Alargamento da calha principal com retirada da vegetação (redução da rugosidade) das margens pode ocasionar erosão do fundo, erosão regressiva a montante do ponto de início do trecho, deposição a jusante do final do trecho modificado, e erosão regressiva do comprimento do trecho com aumento do transporte sólido;
 - Cortes de meandros aumentam o transporte sólido ocasionando depressão e erosão no trecho mais a montante do corte do material e um pouco após, e a deposição do material retirado em seção mais a jusante na proximidade do final do trecho modificado;
 - Diques causam a escavação por erosão no trecho compreendido pelo mesmo, erosão regressiva a montante, deposição a jusante e a desproteção da base das obras existentes (pontes, soleiras, obras de proteção das margens);
 - Reduções localizadas no leito menor, tais como as observadas quando da inserção de pilares de ponte, podem causar o aprofundamento localizado;
 - Retiradas permanentes de volumes de terra no leito maior podem ocasionar erosão regressiva da camada de terra que separa o leito maior do menor a montante e erosão progressiva a jusante dos pontos de início e fim da retirada respectivamente;
 - Retiradas de depósitos a título de manutenção podem conduzir a um aprofundamento do leito;
 - Barragens causam a deposição de sedimentos a montante da mesma em virtude da redução da velocidade de escoamento, e erosão progressiva a jusante desta pela liberação de uma vazão líquida livre de carga sólida.
 - Derivações com restituição estão sujeitas a uma sequência de processos de aprofundamento, aumento de nível e erosão a montante, a jusante e no comprimento da modificação, consequências da inserção das obras e das alterações nos regimes de escoamento do curso propriamente dito e do canal auxiliar.
 - Reflorestamento da bacia de drenagem reduz o risco de erosão do rio e a produção de material granular.

A balança de Lane, apresentada na Figura 6.1, permite a análise dos processos descritos

anteriormente e sintetiza a adaptação do curso de água às mudanças sofridas. Para uma carga sólida grande há uma tendência de deposição, ocorrendo a *agradção* do leito fluvial, enquanto que se a carga sólida é pequena há uma resposta do curso de água com a *degradação* do leito (Baptista e von Sperling, 2007).

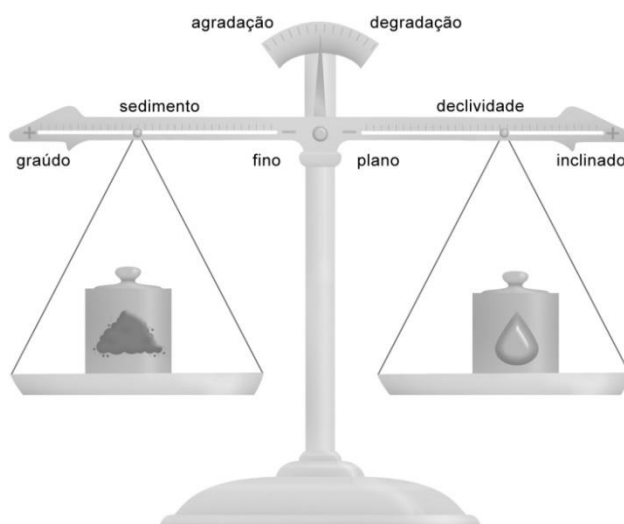


Figura 6.1 - Balança de Lane (adaptado de Yang, 1996 *apud* Baptista e von Sperling, 2007)

De maneira geral as derivações, barragens, extrações de material granular e arborização modificam as variáveis de controle (vazão e carga sólida) enquanto que a retificação, corte de meandros, soleiras modificam as variáveis de resposta (largura, sinuosidade, declividade, profundidade).

A análise qualitativa das variáveis de controle é objeto de estudo para a classificação de cursos d'água na França. O projeto chamado SEQ (*Systèmes d'Évaluation de la Qualité*) abrange a qualidade biológica (SEQ-BIO), a qualidade da água (SEQ-EAU) e a avaliação da qualidade do meio físico (SEQ-PHY) dos cursos d'água franceses. Segundo Demortier e Goetghebeuer (1996), o método, proposto no início da década de noventa, foi aprimorado e é aplicado atualmente na avaliação da qualidade física de rios de regiões francesas conforme apresentado por Rebillard (2001) e Agences de l'Eau (1999). De acordo com os autores os objetivos do SEQ-PHY são verificar a qualidade das componentes do meio físico de um corpo d'água avaliando o grau de artificialização sofrido pelo mesmo; e ser uma ferramenta de auxílio à decisão para a escolha de estratégias de ordenamento, restauração e gestão de cursos d'água franceses.

O SEQ-PHY faz um apanhado das condições do leito menor (composto pelo fundo do leito, margens e revestimento dos mesmos) e do leito maior (leito de inundação e anexos fluviais) de modo a avaliar o seu estado e identificar elementos que perturbem seu funcionamento. A execução da avaliação é feita primeiramente pela divisão do rio em trechos homogêneos do ponto de vista morfodinâmico, seguido da descrição de todos os trechos de modo a identificar o grau de artificialização de cada um deles (leito maior, leito menor e margens). A partir de uma ficha para a avaliação composta por aproximadamente 30 (trinta) variáveis, cada uma destas é expressa em porcentagem da situação ideal e após o cálculo da soma dos produtos ponderados dos valores obtidos para as variáveis, é determinado o estado da qualidade física do meio.

Assim, para permitir a adaptação do meio às modificações sofridas é necessário que se identifique os mecanismos mais agressivos e nocivos ao meio, que deverão ser adotados cuidadosamente quando estiverem esgotadas todas as possibilidades e privilegiar as práticas que permitam o bom entrosamento do contexto do rio com o meio urbano, reduzindo ao máximo possível os impactos. Os meios para se conseguir isso passam pela gestão do espaço urbano em conjunto com a gestão do transporte sólido e a identificação das ações benéficas ao meio.

O conceito de vazão dominante ou geomorfológica aparece no contexto da morfologia dos cursos d'água como sendo a vazão responsável pela manutenção das características de tamanho e forma do canal principal em seu estado natural. Essa vazão é responsável pelo equilíbrio das condições de transporte nos canais. Em canais próximos ou em equilíbrio dinâmico a vazão dominante é aproximadamente igual à “*bankfull discharge*” ou a vazão que preenchimento total do canal antes do seu transbordamento para a planície de inundação (Leopold *et al*, 1968 *apud* KRIS, 2007).

Atividades extremas no sentido da restauração são na grande maioria dos casos impossíveis de serem aplicadas. Assim, Couvert *et al*. (1999) recomendam que sejam considerados os fenômenos geomorfológicos nos projetos de ordenamento urbano a fim de avaliar o impacto que o rio pode sofrer e verificar a sua aptidão em se adaptar ou não a essas modificações. É necessário restaurar não apenas a capacidade de escoamento, mas também o funcionamento ecológico de certos cursos d'água e reparar os impactos das

intervenções precedentes.

Para a gestão do risco de inundação e da prevenção da erosão são recomendadas a criação de obras de infiltração e retenção, o controle do modo de ocupação e utilização do solo, a gestão das águas, a reaquisição da terra, a proteção de margens por técnicas vegetativas e as atividades de manutenção ligadas à retirada de obstáculos ao escoamento. No entanto o mesmo documento recomenda que algumas atividades sejam tomadas com cuidado em função dos seus efeitos sobre o meio físico, e outras são consideradas indesejáveis em função dos impactos que as mesmas apresentam.

São atividades consideradas delicadas para o meio físico do curso de água:

- A limpeza de fundo e bordas (dragagem, recobrimento e modificações na estrutura física);
- As modificações no perfil médio, mesmo respeitando o traçado original, uma vez que, ao se tentar estabelecer um perfil do rio compatível com as necessidades de escoamento, corre-se o risco de haver degradação das margens;
- A criação de um canal evacuador de cheia porque há risco de aumentar a frequência e a importância da inundação a jusante, se houver retorno para o mesmo rio. Além disso o canal só tem água no período de cheia, sendo impossível visualizar uma função para o mesmo fora deste período;
- A proteção de margens por enrocamento uma vez que esta reduz a qualidade paisagística e ecológica das margens e modifica as condições hidráulicas e morfológicas do curso d'água;
- A criação de defletores ao escoamento, que por definição, são obras ofensivas para a geomorfologia do rio.

As ações apontadas para serem evitadas correspondem a:

- A criação de diques, uma vez que essa medida transfere para jusante a inundação e pode agravar seus efeitos, contraria fortemente os usos ligados às margens, e é incompatível com a preservação do meio aquático se construído dentro do espaço para ajuste do curso d'água ou espaço de liberdade do curso de água;
- A recalibragem do leito (retificação, etc.) uma vez que esta é traumatizante e conduz a uma artificialização total do meio além de aumentar a probabilidade de cheia a jusante;

- Os cortes de meandros, além de provocarem perturbações profundas no meio e elevam o risco de inundações a jusante.

No que tange à qualidade da água de inundação, Chocat (1997) afirma que de 15 a 25% da poluição de origem pluvial é atribuída à chuva. O restante da carga poluidora encontrada é proveniente do acúmulo de diferentes elementos durante o período de estiagem pela circulação de veículos, o lançamento de rejeitos industriais e animais, resíduos sólidos dispostos inadequadamente, erosão da superfície do solo e carga produzida pela degradação de vegetais. Segundo STU (1994) *apud* Baptista *et al.* (2005) e Chebbo (1992), com exceção de nitratos, fosfatos e algumas formas de metais que se encontram dissolvidos em água, a maior parte dos poluentes encontram-se associadas a sólidos de granulometrias inferiores a 100µm (em torno de 70 a 80%) e uma outra parte a sólidos de granulometrias superiores a 100µm (em torno de 25 a 30%).

Algumas medidas de controle de inundação apresentam características positivas no que diz respeito à melhoria da qualidade da água de escoamento. As bacias de infiltração permitem a retenção dos sedimentos e poluentes nas camadas superiores do solo, e as bacias de retenção e detenção permitem a deposição dos mesmos no seu fundo. A utilização destes dispositivos evita assim, a transferência da carga poluidora para os corpos receptores superficiais e para os lençóis subterrâneos, o que seria um impacto positivo da adoção dessas técnicas.

6.1.3 – Aspectos sociais

A população que habita ou trabalha na zona inundada sofre diretamente os seus efeitos. Não é necessário estar alojado no pavimento térreo para sofrer os efeitos de uma inundação, basta estar impedido de chegar ou sair de um edifício e de transitar para sofrer os transtornos da inundação. Isso sem contar os danos materiais e os traumas subsequentes sofridos. Esse aspecto, embora difícil de ser abordado em qualquer análise, não pode deixar de ser considerado.

Danos indiretos, tangíveis ou intangíveis, tais como os dias parados para limpeza e recuperação de moradias, para tratamento de enfermidades após as inundações, por impossibilidade de acesso aos locais de trabalho, perdas de emprego, dentre tantos outros são fatores agravantes no contexto social. Além desses, a perda de objetos de estimação,

consequências psicológicas decorrentes, dentre tantos outros, podem persistir por tempo indeterminado e são impossíveis de ser mensurados.

Uma ação bastante questionável e de impactos bastante profundos sobre uma comunidade é a realocação definitiva da população que habita na zona de inundação como medida para solução do problema relacionado a esta. Dentre os impactos que a realocação da população apresenta estão dificuldades de acesso ao local de trabalho, prejuízos nas atividades sociais e de lazer, entre outras. Existe ainda o impacto econômico, quando a indenização não cobre os custos da nova moradia ou é necessário mudar de emprego em função da nova localização da mesma. Essas razões fazem com que o impacto da realocação da população seja significativo na análise em curso.

A realocação provisória, mesmo não tendo um impacto tão intenso quanto o da realocação definitiva, também é fonte de transtornos e inquietações para a população. A busca de local seguro para se alojar, as preocupações com a perda de bens materiais e a impotência diante da situação causam grandes traumas para a população.

No Brasil o sucesso da utilização de áreas públicas para a melhoria de condições ambientais está vinculada à finalidade imposta às obras, não apenas com relação ao aspecto técnico do desempenho hidráulico das mesmas, mas também como uma forma de prever uma utilização secundária para estas. Essa prática evita a reocupação da zona de risco pela população de baixa renda além de criar ou reabilitar espaços públicos de lazer e recreação que possibilitem a melhoria no convívio social da população, suprimindo uma carência das grandes cidades brasileiras. Assim, a utilização secundária da medida de controle adotada e a aceitação do uso desta pela população é fator determinante para o sucesso da intervenção.

6.2 – PROPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS E INDICADORES DE VULNERABILIDADE PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CENÁRIOS

Segundo Le Gauffre *et al.* (2004), entende-se por indicadores de vulnerabilidade a expressão da combinação entre um impacto ou elemento vulnerável e um funcionamento deficiente. Vários são os elementos vulneráveis presentes nas áreas sujeitas a inundações. A população sofre os impactos de intensidade e de maneira bastante diferenciada, mas o meio físico também sofre, não apenas as consequências das inundações, mas também pelas ações direcionadas à sua eliminação ou redução da sua incidência. As soluções escolhidas

podem causar outros impactos tão ou mais sérios que o das inundações. Alguns desses impactos podem chegar a inviabilizar a adoção de soluções em virtude da intensidade dos seus efeitos.

Após a análise bibliográfica realizada foram definidos três critérios para a análise da adoção de medidas para o controle de inundações em áreas urbanas. Associados a estes critérios foram definidos onze indicadores que buscam avaliar o desempenho de medidas de controle nos aspectos contextualizados anteriormente e encontram-se apresentados a seguir.

6.2.1 – Critério “Impactos Ambientais e de Saúde Pública”

O critério referente aos impactos ambientais e de saúde pública foi estruturado em 6 (seis) indicadores que buscam avaliar o desempenho dos cenários nos aspectos ambientais e de saúde na área em estudo. Dois indicadores abordam os aspectos qualitativos das águas de inundação, dois abordam os aspectos de saúde, um aborda o aspecto da quantidade da água e recarga de aquíferos e o último deles se refere à qualidade do meio físico do curso d'água em estudo.

6.2.1.1 - Contaminação da água de inundação por esgoto sanitário (ICS)

Este indicador aborda o problema da contaminação da água disposta na superfície inundada e os resultados de sua contaminação pelos resíduos da rede de esgotamento sanitário e de animais transmissores de enfermidades, que passa a ser fonte de disseminação de doenças de veiculação hídrica nas inundações.

A definição deste indicador parte do pressuposto que o contato prolongado de indivíduos com as águas contaminadas aumenta a probabilidade da ocorrência de enfermidades relacionadas às inundações conforme descrito no item 6.1.1. Sendo assim, partindo desse pressuposto, foi proposto um indicador cujo objetivo é o de avaliar as condições de escoamento observadas após a introdução das intervenções propostas por cada cenário e se estas permitem a intrusão da água na rede e o contato com os resíduos do esgotamento sanitário.

O cálculo deste indicador segue a formulação dada pela Equação 6.3 a seguir, e relaciona o número de pessoas potencialmente passíveis de ter algum tipo de enfermidade em

decorrência do contato com a água nas inundações.

$$I_{CS} = \sum_{i=1}^n D_{POP_i} \cdot S_{50i} \quad (\text{hab; preferência decrescente; } [0; Pop_{TOT}]) \quad (\text{Eq. 6.3})$$

I_{CS} - indicador de contaminação por esgotamento sanitário;

D_{POP} - densidade populacional por unidade de área prevista para cada setor censitário (hab.L⁻²);

S_{50} - área da superfície inundada com altura de água de pelo menos 50 cm (altura dos joelhos) por tempo igual ou superior a 24 horas em cada setor censitário (L²).

Pop_{TOT} - população total da área urbana (hab)

A área da superfície inundada com pelo menos 50cm de altura e duração definidas são obtidas por modelagem hidrológica e hidráulica para a área em estudo conjugada com o modelo numérico do terreno (MNT). A densidade populacional pode ser obtida nos planos diretores de urbanização, pelos dados fornecidos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) ou ainda pela divisão da população urbana total estimada pelo IBGE dividida pela área ocupada pela zona urbana do município (densidade populacional média do município).

Qualquer valor diferente de *zero* obtido para o indicador apresenta um impacto sempre negativo e um desempenho do cenário tão pior quanto maior for o valor encontrado. A introdução de medidas para o controle de inundações terá efeito positivo na medida em que estas impedirem ou reduzirem o contato da população com a água das inundações possivelmente contaminadas.

6.2.1.2 – Proliferação de vetores alados (I_{PV})

Este indicador foi proposto de modo a avaliar o desempenho das intervenções previstas em cada cenário no tocante à redução da acumulação de águas paradas que agreguem condições favoráveis à proliferação de mosquitos transmissores de enfermidades.

Duas condições foram elencadas para fazerem parte da análise: a duração da inundação e a existência de solo nu propícias à manutenção de água parada. Partiu-se, então, do

pressuposto que as superfícies de solo nu ou áreas desocupadas providas de vegetação rasteira com declividade de até 1%, sujeitas a inundação por mais de 1 dia atingem a saturação e com o lento processo de infiltração da água no solo, propiciam a manutenção de poças d'água e tornam-se um ambiente favorável à proliferação de mosquitos. Além dessas superfícies, medidas de controle que requeiram manutenção de um espelho d'água permanente, piscinas e lagos dentro da área inundável também configuram ambientes favoráveis à proliferação de mosquitos.

A formulação proposta para esse indicador é:

$$I_{PV} = S_T \quad (L^2 ; \text{preferência decrescente}; [0; S_U]) \quad (\text{Eq. 6.4})$$

onde:

I_{PV} - indicador de proliferação de vetores alados;

S_T - somatório entre as superfícies de solo nu ou com vegetação rasteira com declividade igual ou inferior a 1% e área ocupada por bacias de retenção inserida dentro da mancha para uma inundação de duração superior a 1 dia (L^2)

S_U - área total da zona urbana (L^2)

O cálculo deste indicador faz uso da área inundada e dados de relevo local obtidos da mesma maneira que o indicador do item 6.2.1.1, informações sobre uso do solo obtidas pela manipulação de fotografias aéreas ou imagens de satélite de alta resolução. A escolha da ferramenta a ser utilizada se dará em função da disponibilidade da mesma ou da facilidade de obtenção. Pelo manuseio em programa apropriado, identificar-se-á os elementos de interesse e em seguida será feita a combinação das informações.

Assim como para o indicador do item anterior, qualquer valor superior a *zero* será sempre correspondente a um desempenho negativo do cenário. Quanto maior o valor obtido pelo indicador, pior será o seu desempenho neste aspecto.

6.2.1.3 – Risco de Poluição Acidental (I_{PA})

O indicador de risco de poluição acidental aborda a questão do risco de contaminação humana e animal, e os danos ao meio ambiente em função da contaminação da água de escoamento por produtos tóxicos perigosos. O intuito do indicador de risco de poluição

ambiental é o de verificar, em função da ocupação da área em estudo, o quanto a implantação das intervenções previstas para cada cenário é capaz de evitar o contato da água de inundação com estabelecimentos que utilizem produtos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente.

Os pressupostos para a formulação partem da consideração de que não há necessidade de se estabelecer uma altura de lâmina d'água mínima acima do solo para o contato, uma vez que há a recomendação de não alojar os materiais e produtos diretamente sobre o solo, mas também na maior parte dos casos, não há a recomendação de altura mínima a partir deste. Outro fator para a não limitação de altura é o fato de que em várias situações os dejetos ficam no nível do solo ou abaixo deste. Sendo assim qualquer lâmina d'água, por menor que seja, é capaz de ser veículo de transporte da contaminação.

A formulação proposta para este indicador é bastante simples uma vez que é difícil hierarquizar os níveis de risco associados a cada atividade e fazer a sua inserção na formulação. Partiu-se, então, da análise do potencial do cenário em colocar em risco a área inundada pela existência dessas atividades dentro da mancha de inundação.

Assim, a formulação proposta para esse indicador é a seguinte:

$$I_{PA} = N_A \quad (n; \text{preferência decrescente}; [0; N_E]) \quad (\text{Eq. 6.5})$$

onde:

I_{PA} - indicador de poluição acidental

N_A - número de empreendimentos atingidos contidos dentro da mancha de inundação

N_E - número total de empreendimentos na zona urbana

Para a composição deste indicador foram utilizadas as informações relativas à extensão da mancha de inundação prevista para cada cenário obtida de maneira semelhante às anteriores e por meio do manuseio com fotografias aéreas, imagens de satélite de alta resolução ou pelo cadastro de empresas existente nos órgãos públicos de planejamento urbano. A partir dessas informações pretende-se posicionar os estabelecimentos em risco a partir das informações sobre sua localização fornecidas por órgão responsável ou por

vistoria in loco.

O impacto da contaminação acidental é sempre negativo e é tão maior quanto maior for o valor do indicador.

6.2.1.4.- Alteração potencial na qualidade da água (I_{QA})

Algumas alternativas de controle apresentam a vantagem de melhorar a qualidade da água pela retenção dos sedimentos e poluentes nas camadas superiores do solo ou por permitir a deposição dos mesmos no seu fundo, caso da utilização de bacias de retenção (secas e com espelho d'água) e de bacias de retenção. Este indicador aborda a questão da melhoria da qualidade da água em função do tipo de intervenção prevista para cada cenário e de seu potencial de atuação nesse aspecto; assim, ele tem o objetivo de avaliar a capacidade das alternativas de controle inseridas nos cenários em propiciar a melhoria da qualidade da água de inundação após a sua introdução.

Para avaliação proposta o indicador parte da análise de que para toda a bacia hidrográfica, a taxa de sedimentos produzida é constante, e que o efeito positivo ocorre somente quando da utilização dos dispositivos que permitem a retenção/deposição de sólidos. Sabendo-se que existe o risco de contaminação do lençol freático quando é favorecida a infiltração de águas possivelmente poluídas, parte-se do pressuposto que a instalação de tais dispositivos ocorra em local com características de modo que o lençol não seja alcançado.

A formulação do indicador considera que toda alternativa de controle atende uma determinada área de drenagem, então o impacto das intervenções de cada cenário neste aspecto é tão melhor quanto maior for a área de drenagem atendida pelas medidas seguindo a formulação a seguir.

- Se não for usado dispositivo de infiltração, retenção ou detenção

$$I_{QA} = 0 \quad (\text{Eq. 6.6})$$

- Se for usado dispositivo de infiltração, retenção ou detenção

$$I_{QA} = \frac{S_d}{S_b} \quad (n; \text{preferência crescente}; [0; +1]) \quad (\text{Eq. 6.7})$$

Onde:

I_{QA} - indicador de alteração potencial na qualidade da água (n);

S_d - superfície de drenagem prevista para alimentar todas as bacias de retenção e retenção previstas para cada cenário (L^2);

S_b - superfície ocupada pela área de estudo (L^2).

Assim quanto mais próximo de 1 for o indicador, melhor será o desempenho do cenário nesse aspecto.

6.2.1.5 – Alteração na Morfologia Fluvial (I_{MF})

O indicador que avalia as alterações na morfologia fluvial aborda a questão da inserção de cursos de água no contexto urbano assim como a adequação do mesmo para manutenção da sua finalidade.

O intuito deste indicador é o de verificar se o conjunto de intervenções previstas em cada cenário é capaz de manter ou restaurar a saúde física do curso d'água por meio da análise das alterações previstas para o mesmo e nas suas adjacências. Os impactos da introdução dos cenários podem ser positivos se as ações previstas beneficiarem a manutenção, revitalização ou restauração do espaço de modo a permitir a manutenção do equilíbrio dinâmico e a evolução natural dos contornos do curso d'água em questão. Quanto mais antropizado o meio, e quanto mais artificiais as medidas adotadas no curso d'água, mais negativo será o impacto da introdução do cenário.

O indicador para avaliar a morfologia fluvial será composto por uma análise qualitativa das modificações previstas para o meio após a inserção das alternativas de controle e na avaliação dos impactos da sua introdução. Para isso, o meio no qual se insere o curso d'água foi dividido em função das condições dos leitos maior e menor, calha principal, margens e o perfil longitudinal, no qual este representa o traçado do curso d'água e as características do seu fundo. Após a introdução das intervenções cada componente deste contexto será expresso por um valor característico em escala definida.

A análise dos impactos parte do pressuposto que existem condições que favorecem a saúde física dos cursos de água urbanos e que as intervenções podem incorporar essas melhorias. Assim, para essa análise foi feito um apanhado de modo a identificar as condições

consideradas recomendadas para o meio físico como sendo aquelas positivas na manutenção do equilíbrio e da dinâmica inerente ao curso d'água; as ações consideradas delicadas ao meio por estarem um passo à frente das condições citadas anteriormente no tocante à desestabilização das funções primárias desse elemento; e as ações consideradas indesejadas para o mesmo que deverão existir somente quando da impossibilidade de se utilizar instrumentos menos nocivos ao meio por levarem o curso d'água a uma situação de alto risco em relação à sua saúde física e manutenção das suas funções.

Para a formulação do indicador foi construída a Tabela 6.1 onde encontram-se listadas as condições recomendadas, aquelas consideradas delicadas para o meio e as condições que devem ser evitadas. Para a adoção de determinadas medidas de controle deve-se considerar um conjunto de ações sobre o meio físico do curso d'água e essas ações deverão ser contempladas no momento da análise das intervenções e na qualificação das alterações sofridas pelo meio para determinação do valor do indicador, tomando sempre como referência, a situação atual do contexto do curso d'água.

A formulação deste indicador propõe a adoção de uma escala quantitativa em cinco níveis que correspondem à comparação da situação atual com a situação posterior às intervenções. Essa escala foi baseada nas considerações feitas por Cardoso (2008) que considerou os indicadores ligados à forma e sinuosidade em planta do curso d'água e as seções transversais de leitos e margens numa escala que vai de uma grande melhora (+2) a uma grande piora (-2). O resultado do indicador será dado pelo somatório entre os valores encontrados para as condições esperadas para cada um dos elementos formadores do contexto do curso d'água após as intervenções. Quanto maior o valor encontrado, melhor o comportamento do cenário em relação à situação atual, sendo verdadeira a situação contrária. A escala de avaliação proposta é a mostrada na Tabela 6.2

Tabela 6.1– Ações previstas para a composição do indicador

Componente	Condições Recomendadas	Condições Delicadas	Condições a Evitar
Leito maior	Plena possibilidade de utilização do leito por cheia rara	Capacidade reduzida de utilização do leito por cheia rara	Capacidade extremamente reduzida ou supressão de utilização do leito por cheia rara
Leito menor	Paisagem natural ou reabilitada	Capacidade reduzida para utilização do leito por cheia rara ou urbanização parcial de baixo risco	Supressão do uso por cheia freqüente; ocupação de alto risco
Margens	Estáveis, naturalmente ou por técnicas de engenharia ambiental	Estáveis por técnicas artificiais	Desestabilizadas
Calha principal	Geometria natural	Modificações na seção	Modificações com alteração da rugosidade/ revestimento
Desenvolvimento longitudinal (em planta e em perfil)	Traçado e perfil originais	Pequenas alterações em planta e em perfil	Alterações que provoquem aceleração do escoamento e artificialização

$$I_{MF} = \sum_{i=1}^5 A_{C_i} \quad (n; \text{preferência crescente; } [-10; +10]) \quad (\text{Eq. 6.8})$$

Onde:

A_{C_i} valor da condição para cada elemento do curso d'água tomando como referência a situação de ocupação atual

Tabela 6.2 – Valor do indicador de melhoria da morfologia fluvial em relação à situação de ocupação atual

- adoção de uma solução que ocasione uma grande piora em relação às condições atuais	-2
- adoção de uma solução que ocasione uma pequena piora em relação às condições atuais	-1
- manutenção das condições atuais	0
- adoção de uma solução que ocasione uma pequena melhora em relação às condições atuais	+1
- adoção de uma solução que ocasione uma grande melhora em relação às condições atuais	+2

Assim o somatório das condições encontradas para os cinco componentes do curso de água será o valor atribuído ao indicador.

6.2.1.6 – Alteração potencial sobre o volume escoado e recarga de aquífero (I_{VE})

O objetivo deste indicador é o de verificar a capacidade dos cenários em reduzir o volume escoado superficialmente e, simultaneamente, favorecer a recarga de aquíferos. A análise do tipo de medida inserida em cada cenário indicará a sua potencialidade em promover a recarga do aquífero.

Há intervenções que são concebidas para o controle de inundações que apresentam um diferencial na medida em que reduzem o volume de escoamento superficial. Algumas dessas medidas podem agregar outro impacto no que diz respeito à recarga de aquíferos, enquanto outras reduzem o volume apenas transpondo este para outro local. O indicador aborda a questão fazendo uma análise dos volumes escoados antes e após a introdução de cada cenário em conjunto com uma análise qualitativa relativa ao funcionamento das medidas de controle propostas com o intuito de verificar se é possível promover a redução dos volumes com simultânea recarga de aquífero. Para isso parte-se da consideração de que sejam respeitados os limites de qualidade da água de modo a prevenir a contaminação do lençol freático. Além desta, admite-se que o volume máximo de água a ser infiltrada corresponde à situação anterior à implantação do cenário.

O indicador proposto para essa análise tomará como base os volumes escoados antes e após a inserção das medidas de controle definidas em cada cenário e parte do pressuposto que se há redução no volume escoado, há também uma maior probabilidade desse volume ter sido infiltrado, desde que não haja a transposição do volume de escoamento. Considerou-se, ainda, que não há possibilidade de aumento do volume de escoamento superficial pela execução das intervenções previstas para os cenários e que dentre as medidas aplicáveis, nenhuma delas prevê a transposição de vazão. A pior situação considerada é aquela em que há manutenção das condições de escoamento atuais.

Os dados para o cálculo do indicador podem ser os hidrogramas previstos para as situações antes e depois da inserção de cada cenário obtidos pela modelagem hidrológica e hidráulica, ou ainda os valores dos volumes obtidos diretamente quando da obtenção das manchas de inundação nas situações previstas, pela manipulação de programas específicos

para as rotinas de geoprocessamento. Em conjunto com as informações do volume será feita a análise do tipo de medida adotada no cenário. Por meio dos hidrogramas será possível calcular os volumes escoados antes e após a aplicação do cenário, e pelo resultado obtido, calcular o indicador da seguinte forma:

$$I_{VE} = \frac{V_A - V_D}{V_A} \quad (n, \text{preferência crescente}; [0; +1]) \quad (\text{Eq. 6.9})$$

Onde:

I_{VE} – indicador de alteração no volume escoado e recarga de aquífero

V_A – volume de escoamento antes da aplicação das medidas ou o volume de escoamento do cenário de referência obtido por modelagem matemática (L^3)

V_D – volume de escoamento previsto após a implantação dos cenários com a medidas de controle obtido por modelagem matemática (L^3)

Quanto menor for o valor obtido para o indicador, pior o desempenho do cenário nesse aspecto.

6.2.2 – Critério “Impactos Sociais na Área Afetada”

Os indicadores de impacto social têm por objetivo avaliar o comportamento do conjunto de medidas propostas em relação aos efeitos da sua inserção diretamente sobre a população alojada na região propensa a inundação. Os impactos esperados pela introdução dos cenários são a redução da severidade das inundações sobre a população, traduzindo-se pela redução na área afetada, dos incômodos gerados pela introdução dos cenários, e também na melhoria das condições de convívio social.

De modo a verificar o impacto da introdução dos cenários diretamente sobre a população, propõe-se três indicadores: população afetada pela inundação e necessidade de realocação da população. A melhoria nas condições de convívio social será avaliada por meio da criação de espaços de lazer e equipamentos urbanos.

6.2.2.1 – Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos (I_{EL})

O presente indicador aborda a possibilidade de utilização secundária das medidas de controle de inundação previstas em cada cenário de modo a revitalizar o ambiente urbano no qual as mesmas serão inseridas. Assim, o objetivo deste indicador é avaliar se as medidas de controle adotadas permitem seu uso como elementos de lazer e convívio social da população que habita na área inundável.

Nesse processo considerou-se que a população já encontra-se devidamente esclarecida sobre o funcionamento e a finalidade das medidas de controle de inundação propostas, e que já foram estabelecidas as suas preferências em relação aos usos secundários para as mesmas. A formulação do indicador prevê, ainda, a possibilidade de utilização secundária de medidas alternativas que podem não estar listadas entre os usos desejados pela população.

A determinação deste indicador será feita de modo qualitativo levando em consideração as preferências da população indicadas pelo decisor e pela possibilidade de aumento, manutenção ou supressão de espaços de lazer com a introdução das medidas de controle dos cenários na área em estudo. Dessa maneira, quatro situações poderão ocorrer, e para cada uma delas, o indicador assumirá um peso conforme descrito a seguir:

- Dentre os usos secundários possíveis para as medidas de controle introduzidas nos cenários poderá haver a introdução ou o aumento da área superficial utilizada como atividade de lazer desejada para a população;
- Dentre os usos secundários possíveis para as medidas de controle introduzidas nos cenários poderá haver a introdução ou o aumento da área superficial utilizada como atividade de lazer não apontada como desejada pela população;
- A introdução do cenário pode não prever nem a introdução nem a supressão de espaços a serem utilizados para o lazer;
- A introdução do cenário pode conduzir à supressão de espaços de lazer.

Baseado nas quatro situações descritas, a análise qualitativa dos cenários será feita mediante a comparação da situação conduzindo a uma escala em quatro níveis apresentada

em ordem decrescente conforme descrito na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Escala de valores para avaliação do indicador I_{EL}

Análise dos efeitos	Ident.	Escala
Implantação de medidas com aumento na área com uso secundário desejado	UD	1,0
Implantação de medidas com aumento da área com uso secundário efetivado, mas não desejado pela população	UN	0,5
Implantação de medidas sem uso secundário previsto ou manutenção das condições atuais de uso	IN	0,0
Supressão de usos secundários sem uso efetivo com a implantação das medidas	SI	-0,5
Supressão de usos secundários intensamente efetivos com a implantação das medidas	SU	-1,0

Na escala de análise, o valor do indicador será positivo a partir do momento em que seja aumentada a superfície destinada a espaços de lazer e equipamentos urbanos. Se a introdução das medidas de controle exigir a supressão de espaços de lazer, o impacto da sua introdução será negativo assim como o desempenho do cenário.

6.2.2.2 – População afetada pela inundação (I_{PO})

O presente indicador trata do impacto sofrido diretamente pela população alojada em área sujeita a inundação e dos transtornos por ela sofridos, transtornos estes que podem ocorrer pelo contato direto com a água, perturbação das atividades cotidianas e possíveis traumas decorrentes desses eventos.

De maneira bem objetiva, o impacto da ocorrência de inundações sobre a população foi formulado para avaliar o comportamento dos cenários em relação à população atingida diretamente pela inundação mesmo que não seja possível incorporar ao cálculo deste indicador, as questões intrínsecas relativas a esse aspecto. Para formulação do indicador considerou-se que os inconvenientes gerados pelo evento não se resumem àqueles que têm seus imóveis tomados pelas águas, mas sim todos aqueles, que de uma forma ou de outra, são impossibilitados de transitar (entrar ou sair de suas residências ou locais de trabalho) na área inundada.

Para a composição deste indicador serão utilizados os dados relativos à extensão da mancha de inundação e a densidade populacional obtidas das mesmas maneiras

recomendadas em itens anteriores. O valor do indicador será o número de habitantes potencialmente possíveis de serem afetados pela inundação mesmo que não estejam alojados no andar térreo das edificações. Dessa maneira, quanto maior o valor encontrado para o indicador pior será o desempenho do cenário nesse aspecto.

Partindo dessas premissas, o cálculo deste indicador é feito da seguinte maneira:

$$I_{PO} = \sum_{i=1}^n D_{POP_i} \cdot A_{ZI_i} \quad (\text{hab}; \text{preferência decrescente}; [0; Pop_{TOT}]) \quad (\text{Eq. 6.10})$$

Onde:

- I_{PO} - indicador de população afetada pela inundação (hab);
- D_{POP} - densidade populacional prevista por unidade de área para cada setor censitário (hab.L⁻²);
- A_{ZI} - é a área da superfície inundada em cada setor censitário (L²);
- Pop_{TOT} - população total da área urbana (hab);
- n - número de setores censitários.

6.2.2.3 – Realocação da População (I_{RP})

A inserção de determinadas técnicas para o controle de inundações só é viabilizada com a retirada definitiva da população para outra área para que seja possível a sua inserção. O impacto para a população nessas situações pode inviabilizar a adoção da técnica, devendo ser considerado no planejamento de uma área urbana.

O objetivo deste indicador é, então, o de verificar se a introdução dos cenários na área obriga a remoção definitiva da população e a sua conseqüente realocação para outra área para implantação das medidas de controle previstas para cada cenário. Dessa forma, assim como indicador descrito anteriormente, o cálculo deste indicador considerará o número de pessoas afetadas pela inserção das medidas de controle propostas em cada cenário a partir da densidade populacional prevista para a área em estudo determinada conforme descrito em itens anteriores, conjugada com a área ocupada pelos dispositivos de controle previstos. Sendo assim, quanto maior a área habitada utilizada para implementação do cenário pior será o seu desempenho.

A partir dessas considerações, o cálculo deste indicador se apresenta como a seguir:

$$I_{RP} = \sum_{i=1}^n D_{POP_i} \cdot S_{MED_i} \quad (\text{hab}; \text{preferência decrescente}; [0; Pop_{TOT}]) \quad (\text{Eq. 6.11})$$

Onde:

- I_{RP} - indicador de realocação da população (hab);
- D_{POP} - densidade populacional prevista por unidade de área para cada setor censitário (hab.L⁻²);
- S_{MED} - superfície utilizada pelas medidas de controle dentro de cada setor censitário (L²);
- Pop_{TOT} - população total da área urbana (hab);
- n - número de setores censitários.

6.2.3 – Critério “Impacto Hidrológico a Jusante da Área Afetada”

Cada um dos cenários possíveis de serem inseridos na área em estudo objetiva reduzir a ocorrência de inundações na mesma. Na tentativa de reduzir os efeitos locais há a possibilidade de transferir alguns efeitos para jusante. Nessa direção, o presente critério tem como objetivo avaliar o comportamento das medidas de controle introduzidas em cada cenário em relação a dois aspectos: a transferência da inundação e a possibilidade de ocorrência de erosão ou sedimentação a jusante em decorrência do tipo de intervenção.

6.2.3.1 – Inundação a Jusante (I_{IJ})

Um dos efeitos ao se tentar resolver os problemas relacionados às inundações em uma área é transferir os impactos desses eventos para outra área a jusante desta. Sendo assim, o presente indicador aborda esta questão por meio da análise das vazões antes e após a introdução do cenário com o objetivo de identificar se os cenários possíveis de serem inseridos favorecem a transferência da inundação para jusante.

Soluções que propiciem o aumento da velocidade de escoamento, a redução do tempo de trânsito e a elevação dos picos de cheia podem acarretar problemas em áreas a jusante do local das intervenções. Assim, propõe-se, para o cálculo deste indicador, uma análise relativa às condições de escoamento utilizando-se para tanto, as vazões correspondentes aos períodos de retorno da análise, propagadas para as situações de antes e após a introdução dos cenários.

Para a propagação das vazões sugere-se aqui, a utilização do método proposto por Baptista (1990) que descreve um modelo simplificado de propagação de ondas de cheia de fácil e rápida utilização, que se baseia “apenas na atenuação da vazão de pico e no seu respectivo tempo de retardamento, com a abstração da evolução temporal do hidrograma completo”. O método procura, ao mesmo tempo, conservar as principais variáveis do problema, usualmente mais interessantes para aplicações em hidrologia: a atenuação da vazão de pico e o tempo de retardamento da onda cheia. No método, as seções dos cursos de água e os hidrogramas a propagar têm uma representação simplificada, mas com a preocupação de manter a sua representatividade. Assim, os hidrogramas são descritos por três parâmetros característicos: parâmetro de escala de vazões; parâmetro de escala dos tempos; e parâmetro de forma.

Caso haja preferência, pode ainda ser utilizado para encontrar a vazão final no trecho o método de propagação de Muskingum-Cunge ou outro método simplificado.

Os parâmetros relacionados aos tempos e forma dos hidrogramas sintéticos são obtidos a partir dos tempos de ascensão (M) e recessão (N) de hidrogramas reais de entrada, sendo que M e N correspondem à duração da ascensão e depleção da parte do hidrograma situada acima de 80% da vazão de pico conforme pode ser visto na Figura 6.2. Assim, o modelo propõe uma formulação baseada na rugosidade, na declividade e no produto PQ/W , representativo dos parâmetros de tempo e forma, sendo que no caso da atenuação, pode ser incluída, também, a vazão.

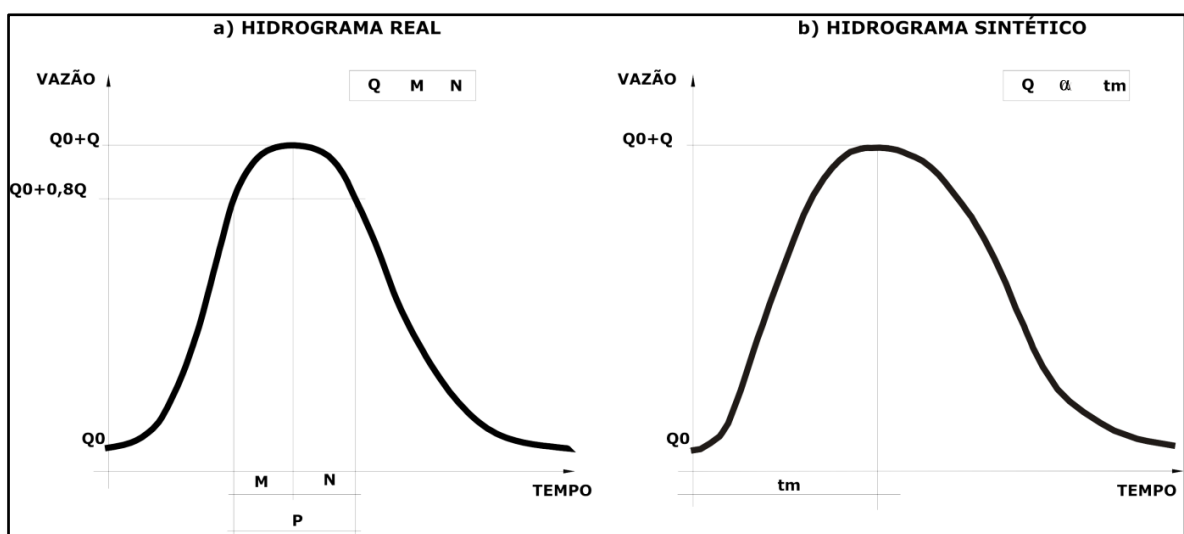


Figura 6.2 – Hidrogramas real e sintético (Baptista, 1990)

$$d(Q/W) = f(n, I, PQ/W) g(Q/W) \quad (\text{Eq. 6.12})$$

$$d T/dx = h(n, I, PQ/W) \quad (\text{Eq. 6.13})$$

Para o caso da atenuação, pode-se precisar a expressão adotando-se:

$$g(Q/W) = Q/W \quad (\text{Eq. 6.14})$$

$$\frac{d(Q/W)}{dx} = \frac{-(Q/W)}{a_0 n^{a_1} (I + a_4)^{a_2} (PQ/W + a_5)^{0.3}} \quad (\text{Eq. 6.15})$$

Integrando a Equação 6.15 para trabalhar com diferenças finitas, e efetuando regressões lineares múltiplas os coeficientes a_0 , a_1 , a_2 e a_3 foram determinados a partir de uma amostra disponível de 256 eventos e os coeficientes a_4 e a_5 foram obtidos por tentativas utilizando a mesma amostragem. Assim, obteve-se as seguintes expressões que permitem a determinação da vazão a jusante:

$$Q_2 = Q_0 + (Q_1 - Q_0)e^{(-L/D)} \quad (\text{Eq. 6.16})$$

$$D = \frac{1}{n^{0.81}} (I + 10^{-4})^{1.02} [P_1(Q_1 - Q_0)/W + 5000]^{0.96} \quad (\text{Eq. 6.17})$$

$$P_1 = M_1 + N_1 \quad (\text{Eq. 6.18})$$

Onde:

Q_1 e Q_2 : vazões de pico do escoamento superficial, a montante e a jusante do trecho respectivamente em m^3/s ;

Q_0 : vazão de base em m^3/s ;

L : comprimento do trecho em km;

n : coeficiente de Manning;

P_1 : duração correspondente a 80% da vazão de pico a montante em segundos;

M_1 e N_1 : tempos de ascensão e recessão correspondentes à duração de 80% da vazão de pico em segundos;

W : largura média do curso de água em m.

Para o cálculo do tempo de retardamento utiliza-se a expressão da Equação 6.19:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{1}{b_0 n^{b_1} (I + b_4)^{b_2} \left(\frac{P_1 Q_1}{W} + b_5\right)^{b_3}} \quad (\text{Eq. 6.19})$$

De forma análoga à da atenuação são definidos b_0 , b_1 , b_2 e b_3 , obtendo-se as expressões 6.20 e 6.22.

$$T = \frac{L}{C} \quad (\text{Eq. 6.20})$$

$$C = \frac{5.8}{n^{0.54}} (I + 0.001)^{0.68} [P_1(Q_1 - Q_0)/W]^{0.14} \quad (\text{Eq. 6.21})$$

Onde:

- T: tempo de retardamento em segundos;
- L: comprimento do trecho em km;
- n: coeficiente de Manning;
- I: declividade média;
- P_1 : duração correspondente a 80% da vazão de pico a montante em segundos;
- Q_1 : vazão de pico a montante, acima da vazão de base, em m^3/s ;
- Q_0 : vazão de base em m^3/s ;
- W: largura média em m.

A forma do hidrograma pode ser do interesse para outros fins ou mesmo para o caso da divisão do trecho de interesse em múltiplos trechos de acordo com a conformação do mesmo. Assim sendo, os valores correspondentes a M e N são:

$$M_2 = \frac{(M_1 + N_1)(Q_1/Q_2)}{M_1 + N_1(Q_1/Q_2)^{0.6}} M_1 \quad (\text{Eq. 6.22})$$

$$N_2 = \left(\frac{M_2}{M_1}\right) \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^{0.6} N_1 \quad (\text{Eq. 6.23})$$

Onde:

- M_1 e M_2 : durações dos tempos de ascensão dos hidrogramas, a montante e a jusante, respectivamente, correspondente a ponta do hidrograma superior a 80% da

vazão de pico;

N_1 e N_2 : durações dos tempos de recessão dos hidrogramas, a montante e a jusante, respectivamente, correspondente a ponta do hidrograma superior a 80% da vazão de pico.

A obtenção do hidrograma inicial é feita diretamente por modelagem hidrológica.

A formulação deste indicador partiu do pressuposto que o aumento na vazão de pico dos hidrogramas a jusante das intervenções seja uma referência suficiente da transferência dos efeitos para áreas a jusante, já que pressupõe-se que um aumento na vazão de pico leve a uma antecipação deste e à entrada de um volume maior em menor intervalo de tempo em relação à situação anterior. Além disso, considerou-se que o valor mínimo de vazão encontrado deverá respeitar as condições de escoamento para preservação dos habitats naturais do curso d'água.

Para a formulação deste indicador admitiu-se que a área a jusante da área em estudo possui ocupação que restringe o escoamento a partir de um determinado valor de vazão. Essa vazão será aqui denominada de *vazão de restrição*.

Dessa maneira a formulação deste indicador é a mostrada nas Equações de 6.24 a 6.26 a seguir.

$$\text{Se } Q_d \leq Q_R \rightarrow \begin{array}{l} \text{Independente} \\ \text{do valor de } Q_a \end{array} \quad I_{IJ} = 1 \quad (\text{Eq.6.24})$$

$$\text{Se } Q_d > Q_R \text{ e } Q_a > Q_R \quad \text{Se } Q_d > Q_a \quad I_{IJ} = 0 \quad (\text{Eq.6.25})$$

$$\text{Se } Q_d \leq Q_a \quad I_{IJ} = 0,5 \frac{(Q_d - Q_a)}{(Q_R - Q_a)} + 0,5 \quad (\text{Eq.6.26})$$

Q_R - vazão de restrição para a manutenção das condições na área a jusante da área em estudo ($L^3.T^{-1}$)

Q_d - vazão obtida após a implantação de cada cenário ($L^3.T^{-1}$)

Q_a - vazão correspondente à situação de ocupação atual ($L^3.T^{-1}$)

O intervalo de variação do indicador está compreendido entre 0 e 1 em escala preferencial

crecente. Valores entre 0 e 0,5 para o indicador não serão obtidos já que uma vez que considerou-se que a piora nas condições atuais de escoamento (Qa) não é desejável qualquer que seja a proporção do aumento. Nesse caso o indicador assume seu valor mínimo (zero). Assim, se a implantação do cenário mantiver a vazão até o limite da vazão de restrição, o indicador assume o valor máximo igual a 1,0. Se por outro lado não se conseguir melhorar as condições atuais de escoamento com a implantação das medidas de controle, o indicador assume um valor neutro igual a 0,5 e, havendo a melhora nas condições de escoamento em relação à situação atual mesmo não chegando ao limite da vazão de restrição, o indicador assume o intervalo de variação entre 0,5 e 1,0 calculado pela equação acima.

6.2.3.2 – Erosão ou sedimentação a jusante (I_{EJ})

Algumas alternativas para o controle de inundações apresentam como características alterações nas cargas líquida e sólida, o que pode indicar uma predisposição dessas medidas para a ocorrência de erosão e/ou sedimentação. O objetivo deste indicador é, então, avaliar se as medidas de controle previstas para o cenário induzem à ocorrência de erosão ou sedimentação a jusante do trecho a sofrer a intervenção.

Para a determinação deste indicador é feita a análise qualitativa do tipo de medida a ser adotada no cenário e caracterização da mesma de acordo com a sua aptidão em causar os impactos citados na escala definida na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Escala de análise do indicador I_{EJ}

Análise dos efeitos	Valor
Fortemente predisposta a causar erosão ou sedimentação a jusante;	0,0
Medianamente predisposta a causar erosão ou sedimentação a jusante;	0,5
Nenhuma predisposição em causar erosão ou sedimentação a jusante	1,0

$$I_{EJ} \text{ (valor obtido pela Tabela 6.4)} \quad (\text{preferência crescente, } [0; +1] \text{)} \quad (\text{Eq. 6.27})$$

Nesta escala, a melhor opção é aquela em que nenhuma predisposição a causar erosão ou sedimentação é observada.

6.3 – ANÁLISE CRÍTICA DO GRUPO DE CRITÉRIOS E INDICADORES DE VULNERABILIDADE

Ao mesmo tempo em que os indicadores eram formulados, foi iniciado o processo de análise da pertinência dos critérios e dos indicadores de vulnerabilidade propostos com a finalidade de identificar a eventual ausência de aspectos relevantes e obtenção do grau de importância relativa dos mesmos (ponderação).

Esse processo contou com a participação de especialistas de diferentes áreas de atuação: professores e pesquisadores de instituições brasileiras e no exterior, representantes de agências de águas, profissionais da área de recuperação de redes e órgãos de socorro às vítimas.

Para efetuar o processo de ponderação, foram contactados 24 (vinte e quatro) profissionais das áreas citadas e enviado um convite para participação no processo de validação dos critérios e indicadores. Dos 24 especialistas contactados, 19 (dezenove) aceitaram participar do processo (79,17% dos especialistas convidados) e 11 (onze) responderam ao questionário de avaliação (55% especialistas que aceitaram participar do processo e 45,83% do total de especialistas convidados).

Os pesquisadores que participaram do processo de ponderação dos critérios e indicadores foram divididos em grupos de acordo com as afinidades de área de atuação:

- Grupo 1 (G1) - professores e pesquisadores de instituições públicas de ensino brasileiras
- Grupo 2 (G2) - pesquisador de organismo internacional;
- Grupo 3 (G3) - representante de comitê de bacia;
- Grupo 4 (G4) - representante de Agência de Águas;
- Grupo 5 (G5) - representante da área de prestação de serviço na área de drenagem urbana e
- Grupo 6 (G6) - representantes da Defesa Civil e Corpo de Bombeiros.

6.3.1 – Ponderação dos Indicadores

O processo de ponderação tem um papel importante no processo de decisão multicritério os resultados irão refletir a importância que o decisor atribui a cada um desses critérios (Pomerol e Barba-Romero, 1993). Existem diversos métodos de ponderação e os seus

resultados influenciarão diretamente no resultado final de uma análise. A escolha do método para o processo de ponderação baseia-se na adequabilidade do mesmo para o tratamento da questão e nas facilidades encontradas para a execução deste processo.

Zeleny (1977) *apud* Gomes *et al.* (2002) comentam que as dificuldades encontradas para atribuir pesos sejam influenciadas pela composição e/ou propriedades das alternativas propostas, além de uma dificuldade natural do ser humano em expressar suas preferências em pesos. Dentre as dificuldades percebidas para a atribuição dos pesos pelos indivíduos, segundo Saaty (1991) *apud* Gomes *et al.* (2002), estão: aquelas relacionadas ao bem estar geral; ao senso crítico; às relações interpessoais; à capacidade de adaptação; às noções de ética e disciplina; aos esforços pessoais para melhor representar a realidade; e à busca de uma metodologia de solução adequada.

Dentre os métodos de ponderação disponíveis podem citados:

- Métodos ditos *objetivos* como o método da entropia, cuja idéia essencial é que a importância relativa de um critério, medida pelo seu peso, é função direta da quantidade de informação disponível para esse critério em relação aos demais, ou seja, o critério mais importante é aquele tem o mais “*forte*” poder de discriminação entre todos os critérios.
- Métodos de *avaliação direta* tal qual o método da classificação simples que consiste na ordenação simples pelo decisor, da sua ordem de preferências; método da avaliação cardinal simples ou método da atribuição direta do peso, no qual o decisor avalia diretamente cada critério segundo uma escala pré-definida; o método das comparações sucessivas que é uma evolução do método cardinal simples no qual são eliminadas as incoerências.
- Métodos ditos *indiretos* representados pelo método AHP que se baseia no cálculo de uma matriz de comparações binárias entre os critérios (Pomerol e Barba-Romero, 1993 e Moura, 2008)

Foram escolhidos dois métodos de ponderação para aplicação neste estudo: o método de Atribuição Direta do Peso e o método AHP. Os métodos foram escolhidos em função das suas possibilidades de uso na temática tratada, mas, principalmente, pela experiência na utilização dos mesmos.

A consulta aos especialistas foi feita pela internet e embora o número total de respostas recebidas tenha sido considerado adequado à análise, é reconhecido que houve uma participação maior de pesquisadores ligados a universidades brasileiras em detrimento dos participantes dos demais campos de atuação. Apesar de contar como único participante, a Defesa Civil e Corpo de Bombeiros do Estado de Minas Gerais contou com a avaliação de 06 (seis) membros destes órgãos, uma vez que as respostas foram definidas em um grupo de trabalho.

Nesse processo procurou-se envolver pesquisadores de diferentes regiões do Brasil de modo a perceber se necessidades diferenciadas ocasionam importâncias também diferenciadas. A participação de representantes de órgãos regulatórios permite subsidiar o estudo com informações sobre possíveis restrições ou normas vigentes que pudessem ser incorporadas na formulação dos indicadores. Além disso, muitos dos dados a serem utilizados podem ser fornecidos por esses órgãos.

A participação de representantes de empresas prestadoras de serviço permite uma visão executiva do assunto, de modo a tornar o tema em discussão mais palpável do ponto de vista prático. Os órgãos de defesa e proteção às vítimas atuam no momento de crise e posterior a ele. As informações fornecidas pelos seus representantes dão uma idéia bastante clara das prioridades da população e das atividades do governo municipal e estadual quando da ocorrência de eventos de inundação.

Os representantes de comitês de bacia, responsáveis pela aprovação de planos diretores de bacias hidrográficas, podem avaliar a potencialidade do suporte metodológico no planejamento de áreas urbanas inundáveis e na aplicação do mesmo na proposição de novos assentamentos urbanos.

6.3.2 – Análise de importância de critérios e indicadores

Após a definição dos métodos de ponderação que seriam utilizados na análise de importância dos critérios e indicadores formulados, foi preparado um material para a execução da análise e o seu envio para cada especialista.

O documento enviado está apresentado no Anexo C e consta de um texto explicativo sucinto com a descrição dos critérios abordados no estudo e dos indicadores relacionados a

cada critério. A formulação dos indicadores não fez parte do texto explicativo, muito embora tenha sido dada oportunidade de esclarecimento de possíveis dúvidas para os especialistas.

No documento enviado aos especialistas, logo após a exposição dos objetivos do estudo, constava um texto explicativo sobre os critérios definidos e ao final de cada tópico solicitava-se a importância de cada critério pelo método da Atribuição Direta de Peso ou Pontuação Direta. Para a ponderação dos critérios foi solicitado aos especialistas que o somatório dos pesos atribuídos fosse igual a 100.

Posteriormente ao processo de ponderação dos critérios, no documento enviado, constavam para a execução da segunda etapa do processo de ponderação utilizando para tanto o método AHP, o material para a ponderação dos indicadores. Nessa etapa do processo de ponderação, os indicadores foram divididos em 3 (três) tabelas (uma para cada critério) nas quais constavam os indicadores ligados a cada critério. Essas tabelas eram acompanhadas da escala de comparação proposta pelo método AHP substituindo os valores da escala sugerida por conceitos relacionados, compondo uma escala de preferência qualitativa. Foi solicitado aos participantes do processo que fossem feitas análises dos indicadores dois a dois preenchendo as células pelo grau de importância de um indicador em relação ao outro, baseado na escala enviada. Terminado o preenchimento das tabelas o material foi devolvido para posterior cálculo dos pesos atribuídos a cada indicador por cada especialista proporcionalmente ao peso atribuído para o critério.

A comparação dos indicadores dentro de cada critério foi feita baseado numa escala variando de uma qualificação “sem importância” até “sem dúvida muito mais importante” conforme pode ser visto na Tabela 1 do Anexo C. Após o recebimento das avaliações, foi feita a substituição dos conceitos de importância dos indicadores pela escala numérica do método AHP e calculados os respectivos pesos.

De posse dos resultados numéricos dos pesos obtidos pelo método AHP, foi enviado a cada especialista o resultado numérico da sua avaliação para confirmação dos resultados. Isso foi feito porque o índice de incoerência calculado foi acima do permitido pelo método para praticamente todos os envolvidos no processo de ponderação em pelo menos um dos

critérios. Numa situação como essa o método recomenda que os resultados obtidos sejam reenviados aos especialistas. Como essa tarefa demandaria um longo período de tempo, decidiu-se realizar a confirmação dos resultados da ponderação pelo método da Pontuação Direta. Assim, na mesma tabela com os pesos encontrados pelo método AHP, foi preparada uma coluna em branco na qual era solicitado o preenchimento pelo especialista dos novos pesos em caso de discordância dos valores encontrados para os pesos dos indicadores pelo AHP.

6.3.3 – Método AHP para ponderação dos indicadores

Os pesos, no processo de tomada de decisão, significam a importância dada aos critérios de análise em questão pelos decisores. Essa importância está relacionada a diferentes fatores ligados às experiências, habilidades e preferências pessoais dos decisores podendo fazer deste processo algo completamente subjetivo. A proposta do método de comparação entre critérios segue o pressuposto de que é mais fácil para o decisor obter a importância de cada um dos critérios pela comparação entre alternativas do que estabelecer um valor total diretamente sobre o critério como acontece nos métodos de avaliação direta.

Para atribuir pesos aos indicadores optou-se por utilizar o método de valores próprios (ou AHP - *Analytic Hierarchic Process*) desenvolvido por Saaty (1977). Esse método se propõe a avaliar um vetor de pesos $w=(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ anexo a um problema de decisão multicritério qualquer, comparando cada critério “*i*” com cada critério “*j*”. Assim é obtida uma matriz quadrada *A* de dimensão *n* chamada de *matriz de comparações binárias*, onde *n* é o número de critérios. O preenchimento da matriz é feito pela associação de um valor a_{ij} para a comparação dos critérios dois a dois que representa w_i/w_j .

O método se baseia numa escala de nove níveis que variam de acordo com seus graus de importância de 1 a 9 e se necessário, podem ser usados valores intermediários (2, 4, 6 e 8). Se o critério *i* não é superior nem igual ao critério *j*, a_{ij} é avaliado com a mesma analogia anterior, mas invertendo a escala proposta na qual $a_{ij}=1/a_{ji}$. Para utilização neste estudo foi proposta a seguinte escala:

- 1 – se o critério *i* apresenta o mesmo nível de vulnerabilidade do critério *j*;
- 3 – se o critério *i* apresenta um nível de vulnerabilidade ligeiramente mais importante que o critério *j*;

- 5 – se o critério i apresenta um nível de vulnerabilidade notavelmente mais importante que o critério j ;
- 7 – se o critério i apresenta um nível de vulnerabilidade muito mais importante que o critério j ;
- 9 – se o critério i apresenta um nível de vulnerabilidade indiscutivelmente mais importante que o critério j ;
- 1/3 - se o critério i apresenta um nível de vulnerabilidade ligeiramente menos importante que o critério j ;
- 1/5 - se o critério i apresenta um nível de vulnerabilidade notavelmente menos importante que o critério j ;
- 1/7 - se o critério i apresenta um nível de vulnerabilidade muito menos importante que o critério j ;
- 1/9 - se o critério i apresenta um nível de vulnerabilidade indiscutivelmente menos importante que o critério j ;

Como o critério i é tão importante quanto ele próprio, na matriz de avaliação, os coeficientes da diagonal principal assumem o valor 1. Como sempre há $a_{ij}=1/a_{ji}$ é suficiente avaliar o triângulo superior da matriz A , onde os $n(n-1)/2$ coeficientes a_{ij} já que $j > i$.

As matrizes de comparações binárias são ditas recíprocas por possuírem propriedades particulares sobre as quais repousa uma parte da eficiência do método AHP. Assim, pode-se dizer que uma matriz de comparações binárias é coerente quando para todo i e todo j , $a_{ij}=w_i/w_j$, ou seja, que a_{ij} (que traduz a importância relativa de i sobre j) é exatamente igual ao quociente das importâncias absolutas que se deseja avaliar. É desejável que o decisor tenha coerência ao realizar as comparações, mas na verdade o método pressupõe o contrário, ou seja, que em maior ou menor grau, sempre existe uma certa incoerência na sua avaliação.

Se o decisor (ou a pessoa que preenche a avaliação) é coerente, certo número de propriedades é verificada, como é o caso da transitividade.

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} = \frac{w_i}{w_k} \times \frac{w_k}{w_j} = a_{ik} \times a_{kj} \quad (\text{Eq. 6.28})$$

Supondo que haja coerência na avaliação, será chamada de *matriz de comparações* W , a matriz onde $W=(w_{ij})=(w_i/w_j)$. Assim:

$$W \cdot \vec{w} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = n\vec{w} \quad (\text{Eq. 6.29})$$

Se a propriedade $W \cdot \vec{w} = n\vec{w}$ é verificada o decisor é coerente, isso significa que n é um valor próprio de W e que w é um vetor próprio associado a ele. Assim, se W é uma matriz de coeficientes positivos o seu valor próprio n é positivo e de maior módulo (dominante) isso implica dizer que w é o vetor próprio dominante.

Para se assegurar da sua coerência, o especialista preencherá a matriz W com cujos valores será calculado o maior valor próprio $\delta_{m\acute{a}x}$ da matriz W assegurando-se que seu valor seja próximo do número de atividades a julgar (n). Para traduzir essa proximidade de n calcula-se uma taxa de incoerência dada por: $CI = \frac{\delta_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$. Esse valor será comparado com a taxa máxima de incoerência chamada também, de *coeficiente de incoerência aleatório* (CIA) obtida calculando-se CI por matrizes recíprocas preenchidas aleatoriamente. Se o resultado de $\frac{CI}{CIA}$ for inferior a 10%, o decisor foi coerente.

Tabela 6.5 – Coeficiente de Incoerência Aleatório (CIA)
(Pomerol e Barba-Romero, 1993)

n	CIA
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45

6.3.4 – Métodos de Atribuição Direta do Peso ou Pontuação Direta

Os métodos dessa categoria são assim denominados porque o decisor avalia os pesos para cada critério diretamente. Como são os métodos de ponderação mais antigos, são também

os mais largamente usados em vários contextos.

Dentre os métodos de avaliação direta, um especialmente foi utilizado neste estudo: o método de avaliação cardinal simples. Esse método consiste na avaliação da importância dos critérios, pelo decisor, de acordo com uma escala pré-definida, variando de 0 a 100 pontos.

Esse foi aplicado nas duas etapas de consulta aos especialistas. Na primeira etapa foi solicitado aos especialistas a ponderação direta dos critérios anteriormente à ponderação dos indicadores. O texto explicativo do método continha uma linha ao final de cada critério onde era solicitado ao avaliador que determinasse o peso de cada critério.

Na segunda etapa, foi solicitado aos especialistas, os pesos de todos os indicadores ligados a cada critério tomando como base os pesos aplicados na primeira fase da consulta.

6.3.5 – Avaliação dos especialistas

Após a análise dos indicadores pelos especialistas, foi feito o cálculo dos pesos dos mesmos. O resultado da aplicação do método AHP apresentou um índice de incoerência acima do admitido pelo método para todos os especialistas em pelo menos um dos critérios analisados. Assim, procedeu-se a segunda etapa da consulta na qual foi solicitado a cada especialista a avaliação do resultado da ponderação pelo método AHP e a correção das discordâncias pelo método de pontuação direta. Foi então enviada a cada especialista a Tabela 5 do anexo A na qual constava o peso encontrado para os indicadores dados por eles mesmos e calculados pelo método AHP e uma coluna em branco na qual o especialista poderia fazer a correção do peso conforme sua opinião. Para os especialistas que não reenviaram o formulário preenchido, foi admitido o peso calculado pelo método AHP, mesmo com um índice de inconsistência acima do desejado. Além disso, alguns especialistas concordaram com o peso calculado pelo AHP e estes foram então os adotados.

Os pesos relativos aos critérios pelo método de Pontuação Direta para cada especialista encontram-se na Tabela 6.6, podendo ser observado na Tabela 6.7, as médias encontradas para os pesos e seus respectivos desvios. Pelos resultados apresentados, o critério que teve maior diferença na avaliação foi o que trata dos aspectos sociais.

Tabela 6.6 – Pesos atribuídos aos critérios pelos especialistas

Especialista	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
Critério											
Impactos Ambientais e de Saúde Pública	25	30	35	40	60	40	40	35	40	40	40
Impactos Sociais	35	50	30	30	20	30	30	45	30	20	20
Impactos Hidrológicos	40	20	35	30	20	30	30	20	30	40	40

Tabela 6.7 – Análise estatística dos pesos dos critérios

Critério	Média	Desvio Padrão
Impactos Ambientais e de Saúde Pública	36.64	6.69
Impactos Sociais	30.91	9.70
Impactos Hidrológicos	30.45	7.89

A Tabela 6.8 apresenta os pesos dos indicadores proporcionais a seus respectivos critérios calculados pelo método AHP. A Tabela 6.9 mostra os índices de incoerência calculados pelo método para os critérios Impactos Ambientais e Impactos Sociais. Para o critério Impactos Hidrológicos a Jusante não houve índice de incoerência relacionado já que este critério foi composto de apenas dois indicadores.

A Tabela 6.10 apresenta o resultado final da ponderação incorporando as alterações feitas na última etapa do processo. Pelo resultado obtido a maior variação observada nos pesos ocorreu para o indicador relacionado à População Afetada (I_{PO}). Destacaram-se no resultado da ponderação os indicadores relacionados ao favorecimento de inundações a jusante (I_{IJ}) e o indicador relacionado à poluição acidental (I_{PV}) em virtude da ocorrência da maior e da menor média encontrada nos pesos dados pelos especialistas respectivamente para os dois indicadores. Em relação ao indicador I_{PA} , foi observada uma convergência na opinião dos especialistas, uma vez que a variância para este indicador foi a menor obtida entre todos os indicadores ponderados.

Tabela 6.8 – Pesos dos indicadores calculados pelo Método AHP ponderados pelos pesos dos critérios

Identificação		Impactos Ambientais e de Saúde Pública na Área Afetada (IAS)						Impactos Sociais na Área Afetada (IS)			Impactos Hidrológicos a Jusante da Área Afetada	
Espec	Grupo	I _{CS}	I _{PV}	I _{PA}	I _{QA}	I _{MF}	I _{VE}	I _{EL}	I _{PO}	I _{RP}	I _{IJ}	I _{EJ}
E1	G1	1.50	11.70	0.60	3.73	3.73	3.73	2.52	24.40	6.12	33.32	6.68
E2	G1	1.24	12.38	1.28	5.99	2.98	6.13	3.54	36.16	10.29	17.50	2.50
E3	G1	1.25	7.62	3.49	1.57	6.36	12.71	1.58	14.21	14.21	17.50	17.50
E4	G3	6.82	2.80	2.21	1.49	12.85	13.83	22.18	5.71	2.10	26.25	3.75
E5	G6	29.15	1.64	9.64	10.80	4.61	4.16	1.61	11.74	6.65	15.00	5.00
E6	G1	5.73	3.21	2.29	0.82	15.51	12.44	16.13	6.68	3.19	27.00	3.00
E7	G1	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.34	3.07	20.59	22.50	7.50
E8	G2	16.26	9.31	3.99	3.09	1.18	1.18	3.52	21.90	19.59	16.67	3.33
E9	G5	7.02	4.58	2.03	0.75	11.00	14.62	21.82	6.63	1.55	27.00	3.00
E10	G4	3.30	5.94	1.87	17.75	1.06	10.08	5.06	13.17	1.77	35.00	5.00
E11	G1	6.87	4.22	1.92	6.21	2.00	16.79	13.17	1.77	5.06	33.33	6.67

Tabela 6.9 – Índices de Incoerência encontrados pelo Método AHP

Especialista	Grupo	Impactos Ambientais e de Saúde Pública	Impactos Sociais
E1	G1	0,145	0,214
E2	G1	0,267	0,377
E3	G1	0,341	0,000
E4	G3	0,642	0,545
E5	G6	0,203	0,214
E6	G1	0,666	1,576
E7	G1	0,000	0,158
E8	G2	0,217	0,011
E9	G5	0,662	0,763
E10	G4	0,167	0,330
E11	G1	0,582	0,330

Tabela 6.10 – Pesos dos indicadores atribuídos pelos especialistas pelo Método de Atribuição Direta dos Pesos

Identificação dos grupos de especialistas		Impactos Ambientais na Área Afetada					Impactos Sociais na Área Afetada			Impactos a Jusante da Área Afetada		
		I _{CS}	I _{PV}	I _{PA}	I _{QA}	I _{MF}	I _{VE}	I _{EL}	I _{PO}	I _{RP}	I _{LJ}	I _{EJ}
G1	Especialista 1	2.00	7.00	1.00	5.00	5.00	5.00	5.00	20.00	10.00	25.00	15.00
G1	Especialista 2	1.24	12.38	1.28	5.99	2.98	6.13	3.54	36.16	10.29	17.50	2.50
G1	Especialista 3	1.25	7.62	3.49	1.57	6.36	12.71	1.58	14.21	14.21	17.50	17.50
G3	Especialista 4	6.82	2.80	2.21	1.49	12.85	13.83	22.18	5.71	2.10	26.25	3.75
G6	Especialista 5	20.00	5.00	6.00	10.00	5.00	14.00	3.00	12.00	5.00	15.00	5.00
G1	Especialista 6	5.73	3.21	2.29	0.82	15.51	12.44	16.13	6.68	3.19	27.00	3.00
G1	Especialista 7	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	10.00	7.00	13.00	16.00	12.00
G2	Especialista 8	16.26	9.31	3.99	3.09	1.18	1.18	3.52	21.90	19.59	16.67	3.33
G5	Especialista 9	7.02	4.58	2.03	0.75	11.00	14.62	21.82	6.63	1.55	27.00	3.00
G4	Especialista 10	4.00	6.00	2.00	16.00	1.00	11.00	5.00	12.00	3.00	35.00	5.00
G1	Especialista 11	6.87	4.22	1.92	6.21	2.00	16.79	13.17	1.77	5.06	33.33	6.67
média		7.08	6.25	2.99	5.42	6.50	10.40	9.72	13.28	7.91	23.48	6.98
desvio padrão		5.97	2.81	1.87	4.71	4.91	4.89	7.86	9.70	5.91	6.96	5.33
variância		35.67	7.92	3.49	22.14	24.1	23.95	61.71	94.14	34.92	46.44	26.36

A Figura 6.3 apresenta graficamente o resultado dos pesos atribuídos aos indicadores por cada especialista, após a validação.

Outras observações decorrentes do processo de ponderação serão feitas posteriormente, após a análise dos comentários dos especialistas.

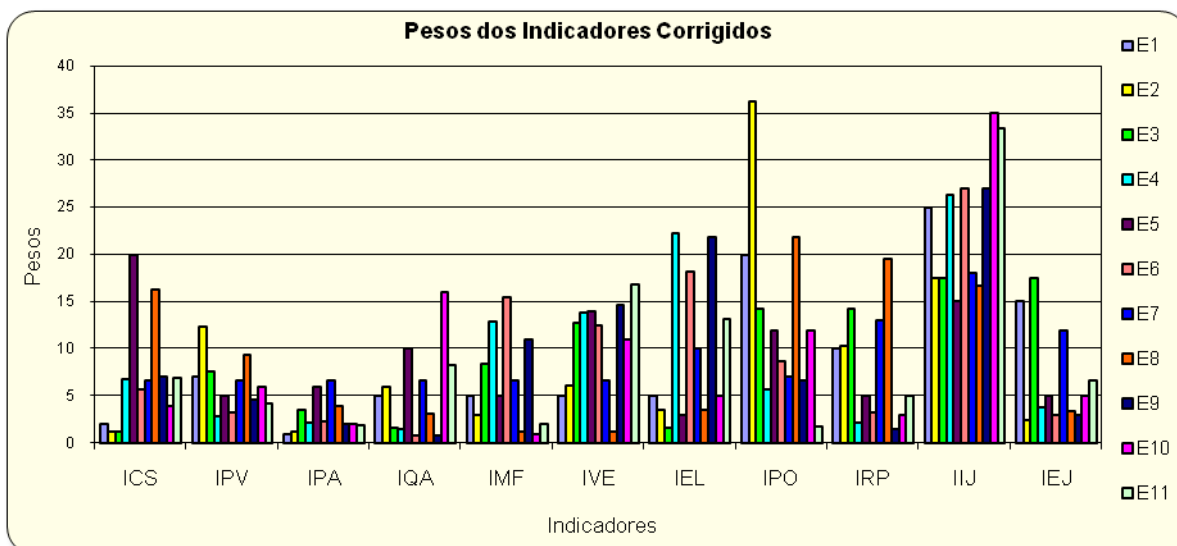


Figura 6.3 – Representação gráfica dos pesos dos indicadores

6.3.5 - Análise dos comentários efetuados pelos especialistas

A consulta aos especialistas resultou, ainda, na obtenção das opiniões dos mesmos em relação à ausência de aspectos relevantes à análise e possíveis alterações na adaptação dos indicadores aos critérios formulados.

Dos onze especialistas consultados, cinco fizeram algum tipo de observação a respeito dos critérios e indicadores propostos. Nenhum dos especialistas questionou a pertinência dos aspectos levantados. As observações foram bastante interessantes e ressaltaram alguns dos aspectos importantes da metodologia proposta.

Um dos especialistas comentou que sentiu uma certa dificuldade para ponderar os indicadores para uma situação genérica. Esse especialista citou como exemplo o indicador referente à proliferação de vetores alados levantando a questão que a análise de importância deste indicador depende da região analisada (se de clima tropical ou subtropical) e da estação do ano (verão ou inverno). Esse mesmo especialista citou que o indicador relativo à poluição acidental pode ser o problema mais grave em determinadas regiões enquanto que em outras, pode não ter qualquer influência.

Acredita-se que na prática o processo de ponderação dos indicadores e critérios seja feita mediante a escolha do decisor ou planejador para uma região específica. Assim, as

particularidades relativas ao clima ou região geográfica estarão aplicadas ao caso específico e os pesos dos indicadores coerentes com essa realidade. Nesse momento a finalidade foi de verificar a pertinência dos indicadores, muito embora essa análise possa ter sofrido a influência da região de onde está o especialista ou da sua área de atuação. De qualquer forma essa dificuldade manifestada pelo especialista ao fazer as comparações de importância entre os indicadores para uma situação geral pode ter sido um dos agravantes para a inadequabilidade do Método AHP para tratar a questão.

Outro especialista considerou os indicadores “*pertinentes e bem elaborados na sua concepção*”, mas que poderiam ter sido abordados no critério “impactos sociais na área afetada” dois elementos: *a facilidade de entendimento/compreensão da população em relação às alterações provocadas pelo cenário; e a aceitação da população em relação a um determinado cenário.*

O aspecto abordado pelo especialista citado no parágrafo anterior foi levantado no momento de definição dos indicadores, e acredita-se que o planejamento de uma área de risco de inundação deva ser feita em conjunto com a sociedade e os governantes. Para a inclusão deste aspecto na maior parte das áreas urbanas sujeitas a inundações deve ser precedido de um trabalho de instrução ou esclarecimento da população sobre o funcionamento das técnicas de controle, realçando seus benefícios e apresentando suas limitações. Esse trabalho é árduo e os técnicos de grande parte dos municípios não estão preparados para fazê-lo. Ainda assim, espera-se que no indicador que trata da criação e reabilitação de espaços de lazer e equipamentos urbanos, a participação do decisor contemple essa questão no que se refere aos usos desejados pela população e na compreensão do alcance das medidas para o controle de inundações como função prioritária e nas limitações inerentes a cada medida.

Um outro especialista julgou o indicador referente às alterações sobre o volume escoado e a recarga de aquíferos “*mais como um indicador técnico que ambiental e de saúde pública*”. Com relação a esse comentário foi considerado que o aspecto ambiental estaria ligado à possibilidade de alimentação do aquífero e recuperação das características do meio físico. Esse mesmo especialista considerou que a avaliação do indicador relacionado à propensão para geração de inundação a jusante já contempla o impacto da geração de

erosão ou sedimentação a jusante. Na análise proposta, os dois impactos foram alocados em indicadores diferentes porque na verdade, as alterações na carga líquida e sólida podem promover a ocorrência da erosão ou sedimentação, mas não pode-se dizer que os dois fenômenos ocorram simultaneamente. Assim, acredita-se não haver redundância na análise por meio de dois indicadores.

A análise conjunta dos pesos dos indicadores e das considerações feitas pelos especialistas norteou o prosseguimento do trabalho. O resultado da análise dos pesos dos indicadores não revelou nenhuma tendência na ponderação. O único consenso foi o baixo peso atribuído ao indicador I_{PA} relacionado ao risco de poluição acidental, e o alto peso atribuído ao I_{IJ} por todos os especialistas, com uma variância relativamente pequena principalmente para o I_{PA} . Mesmo com o baixo peso encontrado não se considerou adequado excluir nenhum dos indicadores da análise, mas sim realizar a adequação dos mesmos às realidades apresentadas por cada local de aplicação. Assim, para o indicador I_{PA} , ligado à poluição acidental, decidiu-se por “habilitar” o mesmo em situações em que esse impacto é importante e “desabilitar” o mesmo das demais aplicações.

Após uma longa reflexão foram sugeridas algumas modificações no grupo de critérios e indicadores que estão descritas a seguir.

6.4 – CONSOLIDAÇÃO DO CONJUNTO DE CRITÉRIOS E INDICADORES DE DESMPENHO

Após o processo de ponderação dos critérios e indicadores de vulnerabilidade propostos, realizou-se uma análise crítica em relação à importância dos pesos atribuídos a cada um deles, a análise dos comentários feitos pelos especialistas e ainda uma análise de redundância dos indicadores. Diante destas análises foram feitas algumas alterações nos critérios e agrupamento de alguns indicadores.

6.4.1 – Realocação de critérios e indicadores

Uma vez realizado o processo de formulação e ponderação do grupo de critérios e indicadores propostos, foi realizada uma análise sobre o contexto dos mesmos (análise dos especialistas, pesos atribuídos por estes, análise estatística básica) e chegou-se à conclusão de que os indicadores poderiam ser agrupados em critérios de maneira um pouco diferente do proposto inicialmente. Assim, foram definidos três novos critérios para alocar os

indicadores propostos. A abordagem dos indicadores permanece inalterada, com algumas adequações.

Os critérios propostos para essa segunda etapa da análise foram agrupados, conforme o elemento vulnerável em questão, de modo a avaliar o desempenho das medidas de controle introduzidas nos cenários em relação aos impactos das inundações e da introdução dos cenários na área em estudo ou a jusante desta. Assim, dois novos critérios foram definidos, o critério “Impactos sobre a população” e o critério “Impactos sobre o meio”. O terceiro critério é o critério que trata dos “Impactos hidrológicos” que também sofreu algumas alterações na sua concepção, mas que manteve a formulação dos indicadores ligados a ele.

6.4.2 – Indicadores ligados ao critério “Impactos sobre a população”

Neste critério foram agrupados os indicadores que representam os impactos das inundações sentidos diretamente pela população. Estão incluídos aqui, os indicadores relacionados aos aspectos sociais, sanitários e de saúde pública que constavam da distribuição de critérios da proposição anterior. As alterações são sugeridas após análise do processo de ponderação e de uma análise de redundância relativa aos aspectos abordados e ao equacionamento proposto.

6.4.2.1 – População afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades (I_{PE})

Este indicador representa a união de dois dos indicadores propostos anteriormente: o indicador “população afetada pela inundação - I_{PO}” e o indicador “contaminação da água de inundação por esgoto sanitário - I_{CS}”. Assim, com a junção destes indicadores a idéia é avaliar se as medidas de controle que compõem os cenários são capazes de reduzir a exposição da população aos riscos da inundação e ao desenvolvimento de enfermidades em virtude dessa exposição.

Ambos os indicadores relacionam a população afetada como indício do comportamento das intervenções para a solução dos problemas relacionados às inundações na área em estudo. Os detalhes que diferenciam a formulação de um indicador do outro são os aspectos relacionados à duração da inundação e à altura de submersão. Assim, foi considerado que havia certa redundância na análise dos dois aspectos, e dessa forma surgiu a motivação para a junção dos mesmos em um único indicador que abrangesse a questão da população afetada e que ao mesmo tempo estaria exposta ao desenvolvimento de

enfermidades ligadas aos eventos de inundação.

Além das questões levantadas no parágrafo anterior, o peso médio obtido pelo indicador I_{CS} foi relativamente baixo e mesmo assim, o valor da média 7,08 encontrado foi elevado em função da ponderação alta dada a ele por apenas dois especialistas.

Outra consideração a respeito da agregação destes indicadores e que também foi uma modificação inserida na sua formulação, diz respeito ao funcionamento de um sistema de alerta, mesmo de caráter rudimentar, prevenir a população sobre a possibilidade de ocorrência de inundação. Partiu-se da análise da possibilidade de, diante do alerta da inundação, existir a possibilidade da população, alojada nas áreas limítrofes na mancha de inundação, poderem se preparar para o evento. Considerou-se que antes de a altura de submersão atingir 1 (um) metro, a população consegue realojar móveis e eletrodomésticos, e desocupar o imóvel antes de sofrer contato com a inundação propriamente dita e que a uma altura de submersão de 0,5m há um aumento significativo do risco de contágio de enfermidades.

Assim, a formulação final deste indicador é a seguinte:

$$I_{PE} = \sum_{i=1}^n D_{POP_i} \cdot S_{50_i} \quad (\text{hab}; \text{preferência decrescente}; [0; Pop_{TOT}]) \quad (\text{Eq. 6.30})$$

I_{PE} - indicador de população afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades (hab);

D_{POP} - densidade populacional estimada por unidade de área para cada setor censitário (hab.L⁻²);

S_{50} - superfície inundada com altura de água maior ou igual a 50cm por tempo igual ou superior a 24 horas para cada setor censitário (L²);

POP_{TOT} - população total da área urbana (hab);

n - número de setores censitários.

A avaliação do desempenho de cada cenário continua o mesmo: quanto maior o valor encontrado para o indicador, pior o seu desempenho nesse aspecto.

6.4.2.2 - Proliferação de vetores alados (I_{PV})

O indicador que avalia a potencialidade de cada cenário na manutenção de ambientes propícios à proliferação de mosquitos transmissores de enfermidades permanece com a mesma formulação sendo a Equação 6.4 que descreve o comportamento deste indicador.

6.4.2.3 - Risco de Poluição Acidental (I_{PA})

A formulação deste indicador permanece a mesma citada na Equação 6.5, mas a inclusão do mesmo na avaliação será feita mediante a análise prévia da região em estudo. Baseado nos comentários dos especialistas a respeito da aplicabilidade deste indicador e nos pesos atribuídos, chegou-se a algumas conclusões.

A média de pesos recebida pelo indicador foi a menor observada em todo o processo (2,99) com um desvio padrão de 1,87, o que poderia sugerir a sua exclusão do processo de avaliação do desempenho dos cenários, mas os comentários dos especialistas chamaram a atenção para aspectos que não podem ser ignorados. Dependendo da ocupação de uma área, a poluição pelo contato com produtos perigosos pode ser o fator mais importante na análise. Assim, decidiu-se por não considerar apenas o resultado da ponderação, mas todo o contexto da avaliação, ou seja, em regiões onde há ocorrência de fontes poluidoras de grande importância dependendo de sua área de influência, este indicador deverá fazer parte da análise. Nos casos em que este aspecto não seja característico da região, ele poderá ser excluído da análise, mas mantém-se a sua formulação.

6.4.2.4 - Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos (I_{EL})

O indicador que trata da utilização dos usos secundários das medidas inseridas no cenário permanece com a mesma formulação descrita pela aplicação da Tabela 6.3, partindo da análise qualitativa das medidas inseridas e da possibilidade de uso secundário da mesma respeitando a vontade da população onde o cenário será inserido.

6.4.2.5 - Realocação da População (I_{RP})

Assim como o indicador anterior, este indicador também segue as mesmas premissas e a mesma formulação proposta anteriormente (Equação 6.11).

6.4.3 – Critério “Impactos sobre o meio”

Neste critério foram alocados todos os indicadores com o intuito de avaliar os impactos

sobre o meio ambiente. Não houve alteração na formulação destes indicadores, sendo assim, o texto a seguir apresenta os indicadores ligados a este critério e sua formulação.

6.4.3.1 - Alteração na Morfologia Fluvial (I_{MF})

O indicador relativo à morfologia fluvial permanece com a mesma formulação original combinando a Equação 6.8 obtida a partir das análises feitas nas Tabelas 6.1 e 6.2.

6.4.3.2 - Alteração potencial na qualidade da água (I_{QA})

A formulação do indicador que avalia a potencialidade dos cenários na melhoria da qualidade da água permanece a mesma apresentada pelas Equações 6.6 e 6.7. A Figura 6.4 apresenta uma simplificação da análise desse indicador em forma de fluxograma, mas em nada é alterado o cálculo do mesmo.

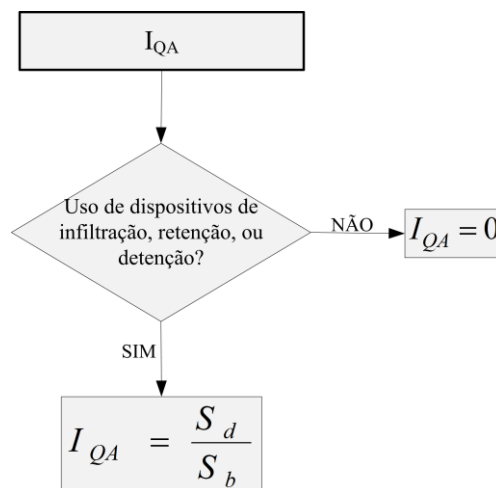


Figura 6.4– Análise executada para determinação do indicador I_{QA}

Onde:

I_{QA} - indicador de alteração potencial na qualidade da água (n)

S_d - superfície de drenagem prevista para alimentar todas as bacias de detenção e retenção previstas para cada cenário (L^2)

S_b - superfície ocupada pela área de estudo (L^2)

6.4.3.3 - Alteração potencial sobre o volume escoado e recarga de aquífero (I_{VE})

Assim como para o indicador apresentado no item anterior, a formulação deste indicador permanece a mesma. Sua determinação é feita tomando como base Equação 6.9 apresentada anteriormente. A Figura 6.5 apresenta de maneira gráfica o cálculo do mesmo.

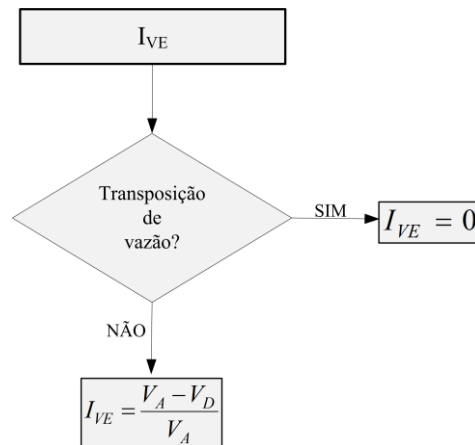


Figura 6.5 – Análise executada para determinação do indicador I_{VE}

Onde:

I_{VE} – indicador de alteração no volume escoado e recarga de aquífero

V_A – volume de escoamento antes da aplicação das medidas ou o volume de escoamento do cenário de referência obtido por modelagem matemática (L^3)

V_D – volume de escoamento previsto após a implantação dos cenários com a medidas de controle obtido por modelagem matemática (L^3)

6.4.4 – Critério “Impactos hidrológicos”

As alterações previstas para este critério são de concepção e conceituação do critério e de local de aplicação dos indicadores. A formulação dos indicadores ligados a este critério não sofreu alteração. Para modificação do presente critério foi considerado que, dependendo da área em estudo, as medidas para o controle de inundações poderão ser inseridas a montante da área em estudo e/ou no perímetro delimitado para esta. Assim, torna-se inadequado o termo “Impactos hidrológicos a jusante da área de estudo”, pois o impacto a jusante da intervenção pode significar um impacto produzido na própria área em estudo, a montante ou a jusante desta. Dessa maneira, os indicadores ligados a este critérios são:

6.4.4.1 – Inundação a jusante das intervenções (I_{IJ})

Este indicador, conforme sua proposição inicial, tem o intuito de avaliar se a introdução dos cenários propicia a geração de inundação a jusante da área em estudo. Essa consideração é a mesma feita na proposição inicial deste indicador uma vez que isto seria uma transferência dos impactos da área onde serão implantados os cenários para áreas a jusante desta. A formulação do indicador permanece a mesma apresentada pelas Equações 6.24 a 6.26, mostradas anteriormente.

6.4.4.2 - Erosão ou sedimentação a jusante das intervenções (I_{EJ})

Este indicador sofreu modificações nas considerações da sua concepção uma vez que houve a constatação de que determinadas intervenções podem ser aplicadas a montante da área em estudo ou dentro da mesma. Assim, a ocorrência de erosão e/ou sedimentação derivadas da inserção de determinadas medidas de controle de inundações poderão ocorrer dentro da área em estudo, a jusante desta, ou mesmo a montante desta, dependendo da localização das intervenções.

A formulação do indicador propriamente dita não foi alterada e é feita mediante consulta à Tabela 6.4. Assim como mostrado anteriormente, ela parte da análise qualitativa da predisposição das medidas de controle que compõem o cenário, em gerar erosão ou sedimentação a jusante delas, mas não necessariamente a jusante da área em estudo.

6.4.5 – Ponderação final dos indicadores

A Tabela 6.11 apresenta a ponderação final dos indicadores em relação aos novos critérios. Para o estabelecimento dos pesos foram mantidos os valores dos pesos originais de cada indicador excetuando-se os indicadores ligados ao antigo critério “Impactos ambientais e de saúde pública”. Para esses indicadores a ponderação foi corrigida considerando o peso do indicador I_{CS} distribuído pelos cinco outros indicadores ligados ao critério (I_{PA} , I_{PV} , I_{MF} , I_{QA} e I_{VE}).

Tabela 6.11 – Pesos finais dos indicadores

Indicador	Média
População afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades	13,19
Risco de poluição acidental	4,50
Proliferação de vetores alados	7,76
Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos	9,62
Realocação da população	8,00
Alteração na Morfologia Fluvial	7,83
Alteração potencial na qualidade da água	6,74
Alteração potencial sobre o volume escoado e recarga de aquífero	11,90
Inundação a jusante das intervenções	23,39
Erosão ou sedimentação a jusante das intervenções	7,07

6.5 – AGREGAÇÃO DOS INDICADORES

A proposta de resultado pretende fornecer ao tomador de decisão elementos que esclareçam todos os aspectos abordados e em que grau uma opção é melhor que outra tomando como base o desempenho dos cenários no que tange aos aspectos abordados nos indicadores de vulnerabilidade e no tocante aos custos relacionados a cada alternativa. A maneira julgada mais clara de apresentar os resultados é a utilização de um critério único de desempenho, obtido pela agregação dos indicadores de vulnerabilidade em um único indicador viabilizando, assim, uma análise desempenho-custo.

Para a agregação de indicadores diversos e com abordagens até mesmo divergentes propõe-se a utilização de um método de análise multicritério que tem como característica principal a possibilidade de agregar aspectos e pesos diferenciados em função da importância dada a cada aspecto durante o processo.

Dentro dos métodos de Análise Multicritério Discreta (AMD) podem ser adotadas quatro abordagens (Roy, 1985, Gomes *et al.*, 2002):

- Problemática da escolha $P\alpha$: auxiliar a escolher uma “melhor” ação ou a elaborar um procedimento de seleção de ações que satisfazem tendo como resultado uma escolha ou um procedimento de seleção;
- Problemática do Tri $P\beta$: auxiliar na triagem das ações que parecem “boas” e descartar as que parecem “ruins”;
- Problemática do $P\gamma$: ordenar as ações segundo uma ordem de preferência ou elaborar um procedimento de classificação;
- Problemática do $P\delta$: auxiliar na descrição das ações e/ou suas conseqüências de forma sistemática e formal ou elaborar um procedimento cognitivo.

Dentre as quatro problemáticas citadas, a presente proposta se enquadra na problemática α uma vez que adotar essa problemática significa permitir comparar todas as opções disponíveis e justificar a não escolha da maior parte delas (Roy, 1985).

Segundo Gomes *et al.* (2002), o critério único de síntese é construído com base na agregação de todos os critérios a partir de uma função de agregação definida. O vetor de performances dessa ação deverá considerar, ainda, as informações intercritérios tais como

os pesos dos critérios ou taxas de conversão.

Dentre as diferentes metodologias multicritério de agregação, buscou-se para aplicação no estudo de caso, uma metodologia simples, de fácil aplicação e que se adaptasse às mudanças de escala dos indicadores. Partindo dessas considerações o método de agregação escolhido foi baseado no conceito de distância ideal.

Segundo Pomerol e Barba-Romero (1993), a noção de ação ou ponto ideal foi introduzida no campo da análise multicritério por Geoffrion em 1965. Roy em 1968 e Benayoun *et al.* em 1971 utilizaram esse conceito no método de decisão multicritério STEM, mas foi Zeleny em 1973 que fez dele o elemento central da sua “solução de compromisso” no sentido que *ela é a mais próxima do ideal*.

A idéia de minimização de uma distância foi introduzida no domínio da decisão multicritério por Charnes e Cooper em 1961 no quadro da “*goal programming*”. Nessa filosofia não se minimiza uma distância a um ideal, mas sim a distância ao objetivo (*goal*) do decisor, que não é forçosamente *o* ideal, mas talvez *o realista*. Assim, os métodos de *distância a uma ação ideal* consideram como melhor alternativa aquela mais próxima da ideal, aquela em que todos os indicadores possuem os melhores valores possíveis. Ao contrário, a alternativa mais distante da ideal, aquela em que todos os indicadores possuem os piores resultados possíveis, será a pior alternativa, ou a mais próxima da anti-ideal.

Vários são os métodos multicritério que utilizam o conceito da distância ideal, mas é no método TOPSIS que esse conceito mostra toda sua utilidade na decisão multicritério, servindo de base para um método específico e operacional (Pomerol e Barba-Romero, 1993).

Segundo o axioma da racionalidade da escolha proposto por Zeleny (1982 *apud* Pomerol e Barba-Romero, 1993), é racional escolher a ação que está mais próxima do ideal ou a mais distante da anti-ideal. Próxima ou distante da ação supõe-se que tenha sido definida a distância escolhida dentre as várias possíveis, que por sua vez não são equivalentes. Do ponto de vista da análise multicritério, a mais usual é a distância de Minkowski que define a distância entre dois pontos $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ e $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ pela Equação 6.31 a seguir:

$$m_p = \left[\sum_j |x_j - y_j|^p \right]^{1/p} \quad \text{para } p \geq 1 \quad (\text{Eq. 6.31})$$

Onde:

m_p : distância de Minkovski entre os pontos x e y;

j : critério analisado;

x_j : ponto de coordenada x para o critério j;

y_j : ponto de coordenada y para o critério j;

p : valor que define o tipo de distância.

Os valores mais utilizados de p são:

$p = 1$, se a distância é do tipo retangular;

$p = 2$, se a distância é do tipo Euclidiana; e

$p = \infty$, se a distância é do tipo de Tchebycheff.

Para se considerar os pesos dos indicadores relativos a cada um dos critérios a distância a uma ação ideal passa a ser então escrita como a Equação 6.32:

$$m_p = \left[\sum_j w_j^p |x_j - y_j|^p \right]^{1/p} \quad (\text{Eq. 6.32})$$

Onde:

m_p : distância de Minkovski entre os pontos x e y;

j : critério analisado;

w_j : peso do critério j;

x_j : ponto de coordenada x para o critério j;

y_j : ponto de coordenada y para o critério j;

p : valor que define o tipo de distância.

Dentre os diversos métodos baseados na distância ideal e anti-ideal, para a agregação dos indicadores da presente pesquisa optou-se por utilizar o método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) (Hwang e Yoon, 1981 *apud* Pomerol e

Barba-Romero, 1993).

No método TOPSIS a associação entre a distância ideal e a anti-ideal é feita por meio de uma taxa de similaridade. A Figura 6.6 mostra que o cálculo feito por meio apenas da distância ideal ou anti-ideal apresenta resultados diferenciados. Nessa figura são apresentados cinco ações A, B, C, D e E de uma escolha para dois critérios. São representados na figura, também, os pontos ideal e anti-ideal. Considerando atribuídos pesos iguais e se for utilizada a distância euclidiana habitual, o ponto C seria o mais próximo do ideal enquanto que o ponto D seria o mais distante do anti-ideal.

O método TOPSIS resolve o dilema da escolha entre a ação ideal e a anti-ideal, que se apresenta como uma evolução da Programação de Compromisso, utilizando a idéia de Dasarathy (1976) aplicada à análise de dados. Assim, para cada ação $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ são calculadas $d_p^M(a_i)$ e $d_p^m(a_i)$ as distâncias métricas ponderadas à ação ideal e anti-ideal, segundo as expressões 6.33 e 6.34.

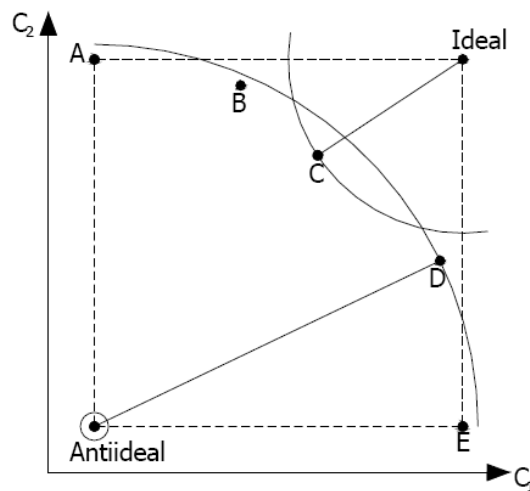


Figura 6.6 - Ilustração da noção de distância ao ideal e ao anti-ideal (Pomerol e Barba-Romero, 1993)

$$d_p^M(a_i) = \left[\sum_j w_j^p |a_j^M - a_{ij}|^p \right]^{1/p}, \quad \text{para } p \geq 1 \quad (\text{Eq.6.33})$$

Onde:

$d_p^M(a_i)$: distância de Minkovski entre os pontos a_j^M e a_{ij} ;

j : critério analisado;

w_j : peso do critério j ;

a_j^M : ponto de ideal para o critério j ;

a_{ij} : ponto de coordenada da alternativa considerada para o critério j ;

p : valor que define o tipo de distância.

$$d_p^m(a_i) = \left[\sum_j w_j^p |a_j^m - a_{ij}|^p \right]^{1/p}, \quad \text{para } p \geq 1 \quad (\text{Eq.6.34})$$

Onde:

$d_p^m(a_i)$: distância de Minkovski entre os pontos a_j^m e a_{ij} ;

j : critério analisado;

w_j : peso do critério j ;

a_j^m : ponto de anti ideal para o critério j ;

a_{ij} : ponto de coordenada da alternativa considerada para o critério j ;

p : valor que define o tipo de distância.

A partir das Equações 6.33 e 6.34 pode ser calculada a taxa de similaridade:

$$D_p(a_i) = \frac{d_p^m(a_i)}{[d_p^M(a_i) - d_p^m(a_i)]} \quad \text{para } p \geq 1 \quad (\text{Eq.6.35})$$

Onde:

$D_p(a_i)$: taxa de similaridade;

$d_p^m(a_i)$: distância de Minkovski ao anti-ideal;

$d_p^M(a_i)$: distância de Minkovski ao ideal;

p : valor que define o tipo de distância.

O valor de $D_p(a_i)$ varia de 0, para o ponto anti-ideal, a 1, para o ponto ideal. O valor do índice de desempenho para cada sistema será o próprio valor da taxa de similaridade $D_p(a_i)$. Assim, para a aplicação do método TOPSIS à metodologia proposta torna-se necessária a normalização dos indicadores para o intervalo proposto pelo método (entre 0 e

1). As expressões propostas para a normalização fazem parte do item a seguir.

6.6 – NORMALIZAÇÃO DOS INDICADORES

Para agregação dos indicadores de vulnerabilidade pelo método TOPSIS é necessária a conversão dos indicadores em uma escala única compatível com o método variando no intervalo entre 0 e 1. Sabendo-se que o processo de normalização não é neutro, ao normalizar os indicadores buscou-se manter a proporcionalidade dos mesmos, não esquecendo, no entanto, de evitar possíveis compensações decorrentes do processo. Assim, na formulação para a normalização, os valores limites de alguns dos indicadores foram alterados de modo a compensar o impacto da normalização sobre os mesmos. Os demais foram obtidos de maneira proporcional à formulação original ou no caso dos indicadores I_{VE} , I_{QA} , I_{IJ} e I_{EJ} , já encontram-se normalizados.

As formulações propostas para normalização dos indicadores I_{PE} , I_{PV} , I_{PA} , I_{EL} , I_{RP} e I_{MF} encontram-se detalhadas a seguir. Juntamente com as equações para normalização encontram-se rerepresentadas as equações de cálculo dos indicadores.

6.6.1 - Normalização do indicador de população afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades (I_{PE})

$$I_{PE} = \sum_{i=1}^n D_{POP_i} \cdot S_{50_i} \quad (\text{Eq. 6.36})$$

$$I_{PE_N} = 1 - \frac{I_{PE}}{Pop_{base}} \quad (\text{Eq. 6.37})$$

Onde:

I_{PE} - indicador de população afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades (hab);

D_{POP} - densidade populacional estimada por unidade de área para cada setor censitário (hab.L⁻²);

S_{50} - superfície inundada com altura de água maior ou igual a 50cm por tempo igual ou superior a 24 horas para cada setor censitário (L²);

I_{PE_N} - indicador de população afetada e exposta a enfermidades normalizado;

Pop_{base} - população total da área urbana inundável para a máxima cheia considerada na análise;

n - número de setores censitários.

6.6.2 - Normalização do indicador de proliferação de vetores alados (I_{PV})

$$I_{PV} = S_T \quad (\text{Eq. 6.38})$$

$$I_{PV_N} = 1 - \frac{I_{PV}}{S_{UM}} \quad (\text{Eq. 6.39})$$

Onde:

I_{PV} - indicador de proliferação de vetores alados;

S_T - somatório entre as superfícies de solo nu ou com vegetação rasteira com declividade igual ou inferior a 1% e área ocupada por bacias de retenção inserida dentro da mancha para uma inundação de duração superior a 1 dia (L^2)

I_{PV_N} - indicador de proliferação de vetores alados normalizado;

S_{UM} - área total da zona urbana inundável para a máxima cheia considerada na análise.

6.6.3 - Normalização do indicador de poluição acidental (I_{PA})

$$I_{PA} = N_A \quad (\text{Eq. 6.40})$$

$$I_{PA_N} = 1 - \frac{I_{PA}}{N_{EM}} \quad (\text{Eq. 6.41})$$

Onde:

I_{PA} - indicador de poluição acidental

N_A - número de empreendimentos atingidos contidos dentro da mancha de inundação

I_{PA_N} - Indicador de poluição acidental normalizado;

N_{EM} - número total de empreendimentos na zona urbana inundável para a máxima cheia considerada na análise.

6.6.4 - Normalização do indicador de criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos (I_{EL})

O indicador I_{EL} original encontra-se descrito na Tabela 6.12 e os valores deste indicador normalizado na Tabela 6.13.

Tabela 6.12 – Escala de valores para avaliação do indicador I_{EL}

Análise dos efeitos	Ident.	Escala
Implantação de medidas com aumento na área com uso secundário desejado	UD	1,0
Implantação de medidas com aumento da área com uso secundário efetivado, mas não desejado pela população	UN	0,5
Implantação de medidas sem uso secundário previsto ou manutenção das condições atuais de uso	IN	0,0
Supressão de usos secundários sem uso efetivo com a implantação das medidas	SI	-0,5
Supressão de usos secundários efetivos com a implantação das medidas	SU	-1,0

Tabela 6.13 – Escala de valores para avaliação do indicador I_{EL} normalizado

Análise dos efeitos	Ident.	Escala
Implantação de medidas com aumento na área com uso secundário desejado	UD	1,0
Implantação de medidas com aumento da área com uso secundário efetivado, mas não desejado pela população	UN	0,75
Implantação de medidas sem uso secundário previsto ou manutenção das condições atuais de uso	IN	0,5
Supressão de usos secundários sem uso efetivo com a implantação das medidas	SI	0,25
Supressão de usos secundários com a implantação das medidas	SU	0

6.6.5 - Normalização do indicador de realocação da população (I_{RP})

$$I_{RP} = \sum_{i=1}^n D_{POP_i} \cdot S_{MED_i} \quad (\text{Eq. 6.42})$$

$$I_{RP_N} = 1 - \frac{I_{RP}}{Pop_{base}} \quad (\text{Eq. 6.43})$$

Onde:

I_{RP} - indicador de realocação da população (hab);

D_{POP} - densidade populacional prevista por unidade de área para cada setor censitário (hab.L⁻²);

S_{MED} - superfície utilizada pelas medidas de controle dentro de casa setor censitário (L²);

I_{RP_N} - indicador de realocação da população normalizado;

Pop_{base} - população total da área urbana para a máxima cheia considerada na análise (hab);

n - número de setores censitários.

6.6.6 - Normalização do indicador de morfologia fluvial (I_{MF})

$$I_{MF} = \sum_{i=1}^5 A_{C_i} \quad (\text{Eq. 6.44})$$

$$I_{MF_N} = \frac{I_{MF} + 10}{20} \quad (\text{Eq. 6.45})$$

Onde:

A_{C_i} - valor da condição para cada elemento do curso d'água tomando como referência a situação de ocupação atual;

I_{MF_N} - indicador de morfologia fluvial normalizado;

I_{MF} - indicador de morfologia fluvial.

6.7 – INDICADORES DE CUSTO

A proposta do presente estudo é dar subsídios aos planejadores para a escolha de alternativas de controle de inundações em áreas urbanas, podendo estas serem da ordem de grandeza de um município ou de um setor residencial. Sabe-se que a decisão sobre as intervenções a serem adotadas não dependem apenas do desempenho hidráulico das medidas de controle que podem ser introduzidas com o intuito de controlar as inundações, tanto que o presente estudo aborda outros aspectos que não o aspecto técnico pura e simplesmente.

Uma parcela de fundamental importância na análise de intervenções, no que tange ao planejamento, é o aspecto financeiro, sendo este, capaz de inviabilizar totalmente uma dada iniciativa proposta. Assim, uma abordagem mais robusta deve avaliar o desempenho das alternativas e realizar uma análise financeira relacionada.

Com o intuito de preencher o máximo dos requisitos do planejamento de áreas urbanas sujeitas a inundações, para revelar um contexto mais amplo das alternativas sugeridas, propõe-se aqui, realizar uma análise desempenho-custo de modo a confrontar os indicadores de vulnerabilidade apresentados com indicadores de custo.

Normalmente ao se realizar um estudo desse gênero são abordados dois aspectos

concernentes aos custos: os custos de implantação e os custos de operação e manutenção. De modo a ampliar esse aspecto, o presente estudo utiliza, também, os custos relacionados aos danos ocasionados ou previstos ligados a eventos de inundações para a análise da escolha entre alternativas de controle de inundações.

A partir das informações dessas três categorias de custos será obtido um indicador global de custos que posteriormente será confrontado com o índice de desempenho obtido pela agregação dos indicadores de vulnerabilidade. O resultado da análise-desempenho custo será efetuada por meio de um método a ser definido em item posterior. Nos itens a seguir serão descritos os componentes do indicador de custo composto dos aspectos citados

6.7.1 – Custos de implantação

Os custos de implantação dos quais trata a presente pesquisa são os custos relacionados aos materiais e mão-de-obra necessários para a execução das medidas de controle previstas para cada cenário incluindo custos relacionados às leis sociais pertinentes.

Os custos relativos à implantação podem ser conseguidos em revistas e catálogos especializados na área de orçamento, órgãos ligados à indústria da construção civil ou por meio de composições de custos para orçamento das obras a serem executadas. Esses custos estão relacionados ao tipo de obra, vulto da mesma e material constituinte. Incluem serviços gerais, preparação e instalação de canteiro de obra, movimentos de terra e instalação de máquinas e equipamentos específicos, quando houverem.

6.7.2 – Custos de manutenção e operação

As intervenções propostas para cada cenário, independentemente de se constituírem em uma obra, utilização de equipamentos ou a utilização conjunta de ambos requerem, com uma frequência determinada, atividades de manutenção do sistema para garantia de sua eficiência. Além disso, existem os custos de operação conforme o tipo de sistema e funcionamento deste.

Os valores de cada um desses custos dependem da vida útil atribuída às intervenções e devem ter seus valores trazidos para o presente. Assim, as parcelas relativas aos custos de manutenção e operação correspondem ao Valor Presente Líquido (VPL) dos custos anuais destinados aos mesmos, atualizadas por uma taxa de desconto considerando a vida útil do

empreendimento.

Segundo Lanna (2001) entende-se por vida útil o intervalo de tempo compreendido entre o início da operação de determinado projeto ou intervenção até o momento em que essa operação se realiza de forma não econômica, diferenciando-se da vida física do empreendimento, que pode continuar mesmo quando este não se apresenta mais rentável. Assim, a avaliação de um projeto deve ser feita tomando-se um período de análise que possui o intervalo de tempo normalmente menor que a vida útil do mesmo.

A comparação de duas alternativas deve ser feita no mesmo período de análise para evitar que sejam privilegiados projetos que retornem seus investimentos a curto ou longo prazos. No caso de projetos com vida útil diferentes, podem ser tomadas duas abordagens. A primeira preconiza que quando a vida útil de uma alternativa for múltipla da vida útil da outra, repete-se o projeto de vida útil menor tantas vezes em seqüência quantas forem necessárias para serem igualadas as vidas úteis, sendo o período de análise igual ao número de anos do projeto de maior vida útil. No caso de vidas úteis de projeto não múltiplas, o projeto de vida útil menor deverá ser repetido tantas vezes em seqüência quantas forem necessárias para ultrapassar a vida útil do projeto de longa duração, sendo que na última seqüência, o projeto será interrompido de forma a serem igualadas as vidas úteis. O valor residual será avaliado nesse ponto e constará como um benefício (Lanna, 2001).

Segundo Vieira Sobrinho (1986), “o Valor Presente Líquido é uma técnica de análise de fluxos de caixa que consiste em calcular o valor presente de uma série de pagamentos (ou recebimentos), iguais ou diferentes, a uma taxa conhecida, e deduzir deste o valor do fluxo inicial (valor do empréstimo, do financiamento ou do investimento)”.

O Valor Presente Líquido é calculado pela seguinte expressão:

$$VPL = C_0 + \sum_{n=1} \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (\text{Eq.6.46})$$

Onde:

C_0 : fluxo de caixa feito na data zero;

C_n : fluxo de caixa feito no período n ;

i: taxa de juros corrente ao período *n*;

n: número do período em que foi feito determinado fluxo.

A taxa de descontos é usada para estabelecer equivalências de valores no tempo com o intuito de avaliar a depreciação de um bem ou serviço no tempo. A definição de taxas de desconto para investimentos públicos é fase importante no planejamento econômico de uma sociedade. Taxas menores favorecerão a viabilização de projetos, “mas poderão facilitar a implantação de uma política de investimentos perdulária e inconseqüente, com baixa produtividade social. Uma taxa alta de desconto, por outro lado, dificultará a viabilização de investimentos e obstaculizará o processo de formação de capital”.

6.7.3 – Custos dos danos decorrentes das inundações

As inundações em áreas urbanas acarretam grandes transtornos para a comunidade atingida. Conforme visto anteriormente, os danos das inundações trazem conseqüências que variam desde aquelas que podem ser mensuradas em valores monetários até efeitos psicológicos de longo prazo.

O terceiro componente do indicador de custos relaciona os danos diretos das inundações a diferentes setores. Para o cálculo desta componente do indicador foram tomadas duas categorias de danos: os danos às edificações e seu conteúdo e os danos à infraestrutura urbana.

6.7.3.1 – Danos às edificações e conteúdo

A avaliação de danos para os setores habitacional, de comércio e serviço tomará como base a metodologia desenvolvida por Machado (2005). Neste estudo a autora obteve curvas de danos por altura de submersão combinando duas abordagens diferentes. Parte dela utilizou dados de danos reais ocorridos para diferentes eventos de inundação e a estimativa de danos hipotéticos tomando como base os efeitos potenciais na construção e seu conteúdo.

No setor residencial os danos decorrentes de inundações foram relacionados, entre outros fatores, à qualidade da edificação e seu conteúdo, à área construída, o estado da edificação em termos de tipo, quantidade e qualidade dos bens duráveis, e eletrodomésticos e artigos de decoração. Com base nessas informações foram obtidos padrões de vida e verificada certa dependência entre as curvas de danos e os fatores mencionados anteriormente.

A condição social das famílias foi definida conforme o *Critério Brasil* (ABIPEME, 2004) que adota cinco classes (A, B, C, D e E) em ordem decrescente de classificação dos padrões de vida, bem estar e conforto, e no nível de educação dos adultos na família.

Os danos na edificação foram estimados a partir do orçamento dos custos de reparo dos danos causados pela inundação, tendo como base a NBR71721 a partir do estabelecimento de quatro padrões construtivos: alto, normal, baixo e classe de trabalho. A definição dos padrões das edificações considera nove itens de acabamento considerados mais importantes. São estes: o revestimento de paredes internas e externas; acessórios de banheiro e cozinhas; e os materiais constituintes de portas e janelas.

Na avaliação dos danos foram definidos projetos típicos para cada classe social baseado nos padrões brasileiros de renda e dados empíricos de distribuição de área construída para cada classe social. O conteúdo de cada unidade residencial (mobiliário, eletrodomésticos, itens ornamentais, etc.) foi definido conforme os padrões de classe social definidos, e os preços atribuídos foram os preços de mercado.

A estimativa dos danos às residências para as diferentes classes sociais em diferentes profundidades de submersão foi baseada nos estudos de Penning-Rowsell e Chatterton (1977).

Para a avaliação dos danos aos setores de serviços as empresas foram agrupadas tomando como base o CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) e os dados do PAC (Pesquisa Anual do Comércio) e do PAS (Pesquisa Anual de Serviços), ambos tendo como referência o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Para esses grupos de empresas foram estimados os danos à construção, conteúdo do estabelecimento tais como equipamentos (computadores e outros), móveis para escritório, danos ao estoque, sendo este a maior fonte de perdas por inundações no setor comercial.

Na avaliação dos custos dos danos à edificação nos estabelecimentos de serviços e de venda a varejo, o levantamento foi feito tomando como base as informações obtidas pela aplicação de questionários para cada estabelecimento inventariado. Essa estimativa foi feita utilizando o mesmo processo de cálculo utilizado para o setor habitacional.

A estimativa de danos aos estoques também foi feita tomando como base as informações coletadas por questionários em todos os estabelecimentos inventariados. Os questionários foram utilizados para obter informações de outros tipos de conteúdo em cada estabelecimento comercial ou de serviço (computadores, equipamentos de escritório e produtos em exibição).

6.7.3.2 – Danos à infraestrutura urbana

Para determinação dos danos à infraestrutura urbana será utilizada a sistemática proposta no Capítulo 5 deste documento. Os setores selecionados para a avaliação são os mesmos constantes da sistemática apresentada.

Para a aplicação da sistemática devem ser levantados dados de cada sistema para a composição dos custos relacionados nos locais onde os mesmos serão aplicados. Alterações no material construtivo podem ocasionar diferenças nas estimativas. Essas informações serão buscadas junto aos órgãos responsáveis por cada setor de modo a caracterizar o sistema. Os custos relacionados serão obtidos utilizando as mesmas fontes descritas no item 6.7.1 incluindo a possibilidade de se realizar a composição dos custos para cada sistema. Os sistemas de drenagem urbana, pavimentação de vias e de limpeza urbana normalmente são responsabilidade das prefeituras municipais, sendo os órgãos municipais responsáveis pelo repasse das informações.

6.8 – ANÁLISE DESEMPENHO-CUSTO

O resultado da análise a ser apresentado permitirá auxiliar o decisor na escolha entre as alternativas de cenários propostas para uma dada área. A intenção ao se escolher os métodos de tratamento das informações e dos métodos de resposta, é obter uma maneira que seja o mais compreensível possível para auxiliar de maneira bastante incisiva a análise dos resultados. Partindo dessas premissas, para a apresentação dos resultados da análise desempenho-custo foi escolhido o Gráfico de Pareto em referência a Pareto, economista e sociólogo que estudou situações econômicas nas quais vários agentes possuíam escolhas diferentes e muitas vezes conflituosas. Assim, foi mostrado que para se obter uma solução exequível deve-se encontrar um meio termo no qual o ganho de um representa mais ou menos uma perda para outro.

O Gráfico de Pareto foi utilizado no estudo desenvolvido por Moura (2004) para a exibição

dos resultados da análise desempenho-custo efetuada pela autora, apresentando uma forma bastante clara e objetiva de mostrar os resultados encontrados. A solução ideal denominada *optimum* é aquela em que os critérios não podem mais melhorar ao mesmo tempo. O *Gráfico de Pareto* é aquele que apresenta um ponto ideal, o *optimum* de Pareto em um dos vértices, e o ponto diagonalmente oposto representa a solução antiideal (Pomerol e Barba-Romero, 1993). O índice de desempenho utilizado para o método é o próprio valor da taxa de similaridade ($D_p(a_i)$) apresentada no item 6.5 pela Equação 6.35. Assim pode-se dizer que:

$$Id_k = D_p(a_i) \quad (\text{Eq. 6.47})$$

Na qual:

Id_k : índice de desempenho da alternativa k ;

$D_p(a_i)$: taxa de similaridade da alternativa k .

O Gráfico de Pareto representa então, os valores dos pares ordenados (Ic_k, Id_k) no qual Ic_k é o índice de custos referente à alternativa k em análise; C_k é o indicador de custos da alternativa k ; e n_T : número total de alternativas.

O índice de custos é calculado a partir do indicador de custos descrito no item 6.7 seguindo a formulação descrita na Equação 6.48.

$$Ic_k = \frac{\sum_{k=1}^{n_T} C_k}{C_k} \quad (\text{Eq. 6.48})$$

Onde:

C_k : custo da alternativa k ;

n_T : número total de alternativas;

Ic_k : índice de custos.

Os pontos que se localizarem mais próximos ao canto superior direito representam as

soluções mais adequadas, enquanto que os pontos que se localizarem mais próximos ao canto inferior esquerdo representam as soluções menos adequadas. A Figura 6.7 apresenta uma ilustração do Gráfico de Pareto.

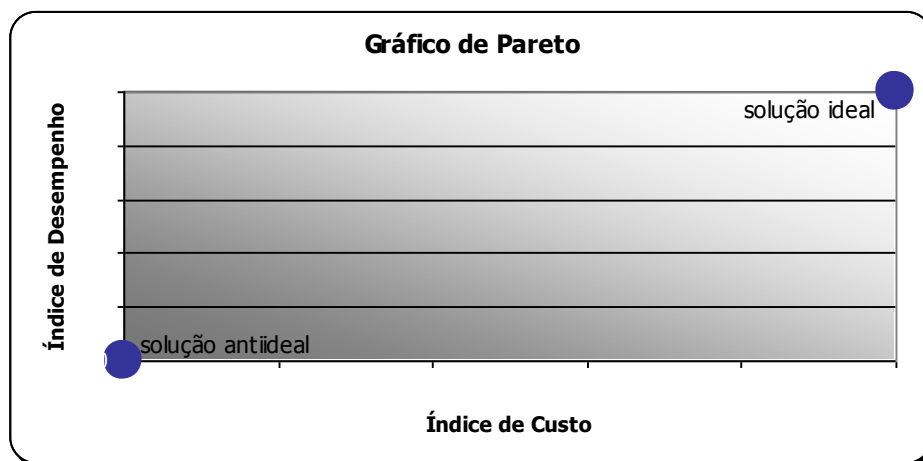


Figura 6.7 - Gráfico de Pareto (Moura, 2004)

6.9 – CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

A sistemática de auxílio à decisão objeto do desenvolvimento desta tese prevê a utilização de indicadores como ferramenta para avaliar o desempenho de alternativas de controle de inundações urbanas. O presente capítulo apresentou as considerações e o desenvolvimento de dez indicadores de vulnerabilidade formulados abordando os aspectos ambientais, sociais, hidrológicos, de saúde pública, sanitários e financeiros.

Esses indicadores passaram por um processo de consulta a especialistas que possibilitou estabelecer o grau de importância dos mesmos e uma readequação de indicadores e critérios. Os indicadores formulados, quando agregados, formam um índice de desempenho e um índice de custos que permitem avaliar o desempenho das alternativas de controle nos diferentes aspectos levantados, identificando a alternativa mais adaptada à solução do problema de inundações local de maneira clara e objetiva.

Para validação da proposição, a sistemática de avaliação do desempenho de alternativas de controle de inundações urbanas foi aplicada a um estudo de caso real cujos resultados encontram-se descritos nos capítulos posteriores.

7.0 – CONSOLIDAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA – ESTUDO DE CASO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ - MG

Para consolidação da avaliação de danos e da análise de desempenho por meio de indicadores foi proposta a aplicação da sistemática em um estudo de caso no município de Itajubá, sul do estado de Minas Gerais. A escolha do município foi função da existência de estudos anteriores tais como os desenvolvidos por Vianna (2000), Queiroz (2003) e Machado (2005). Esses forneceram o levantamento de seções topobatimétricas, a calibração do modelo hidráulico utilizado e auxiliaram na proposição de cenários para a aplicação da metodologia.

7.1 – DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O rio Sapucaí, que corta o município de Itajubá, possui aproximadamente 212 km de extensão da sua nascente, no município de Campos do Jordão – SP, até seu ponto mais a jusante, localizado na confluência deste com o rio Sapucaí Mirim, no município de Pouso Alegre. As nascentes do rio Sapucaí estão em altitudes que variam de 1700 a 1800 metros apresentando declividades elevadas até atingir a planície onde está localizado o município de Itajubá, atingindo cotas da ordem de 840 metros. Nos 12 km de extensão do rio na planície onde se localiza o município, atinge valores médios de declividade da ordem de 0,05% (IGAM, 1999 e COPASA, 2001).

O município de Itajubá está situado nas coordenadas 22° 25' 30" de latitude sul e 45° 27'30" de longitude oeste (Figura 7.1) com uma área ocupada de 290km² e uma população de aproximadamente 90000 habitantes, dos quais aproximadamente 92% da população residia na área urbana no ano de 2000. O município tem como atividades predominantes as atividades industriais (50,67% do PIB) e de comércio e serviços (48,27% do PIB) (IBGE, 2008 e FJP, 2009).

Ao longo de mais de um século ocorreram 13 (treze) eventos de cheia com transbordamento do rio Sapucaí para a planície de inundação adjacente. Essa planície apresenta uma topografia favorável para a ocupação de atividades antrópicas, sendo provavelmente a única área passível de ocupação nos vales encaixados da Serra da Mantiqueira. Por esse motivo o município de Itajubá desenvolveu grande parte de seus equipamentos urbanos na planície de inundação do rio Sapucaí conforme pode ser visto na

Figura 7.2. Mais de 30% da população urbana de Itajubá se encontra alojada em área inundável no trecho de 12 km do rio Sapucaí no qual se desenvolve o município, apresentando grande vulnerabilidade às inundações.



Figura 7.1 – Localização do município de Itajubá (Adaptado de Moura, 2004)

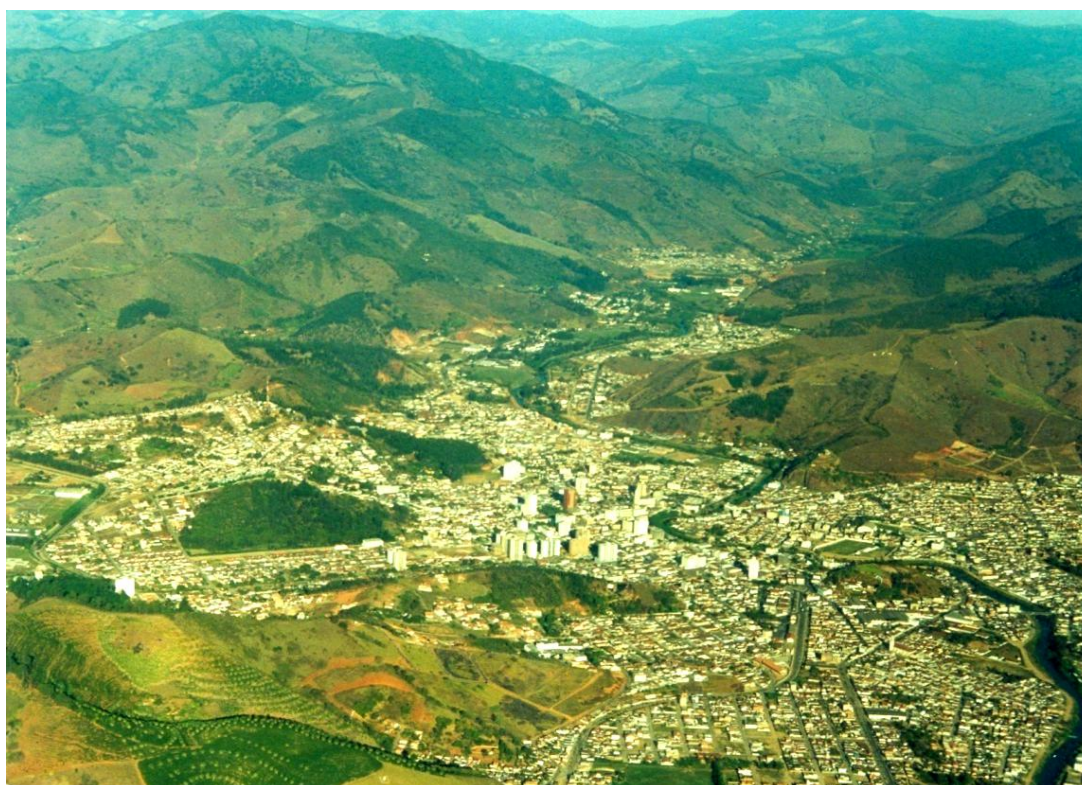


Figura 7.2 – Vista do município de Itajubá encaixado em vale na Serra da Mantiqueira (COPASA, 2008)

Nos limites do município de Itajubá encontram-se ainda o ribeirão José Pereira, o córrego Água Preta e os ribeirões do Piranguçu e Anhumas, afluentes do rio Sapucaí. Em todos esses afluentes as condições hidráulicas de escoamento junto à foz são bastante desfavoráveis durante os eventos de cheia, podendo haver efeito de remanso antes mesmo do rio principal transbordar sua calha menor (IGAM, 1999).

As inundações freqüentes do rio Sapucaí e as conseqüências destas nos municípios inseridos na sua bacia hidrográfica, dentre eles o município de Itajubá, motivaram a execução de diversos estudos, dentre eles os desenvolvidos por Vianna (2000), Lima (2003), Machado (2005), Pinheiro (2005) e Moni (2006). Estes estudos procuraram conhecer os fenômenos que assolaram a cidade e estabelecer, pelas marcas de cheia, dados que permitissem conhecer os limites das inundações e seus respectivos períodos de retorno, bem como estimar os danos provocados por esses eventos e permitir a sugestão de medidas compensatórias.

Foram catalogadas onze grandes enchentes do rio Sapucaí com sérios prejuízos ao município de Itajubá. Essas enchentes ocorreram em 1874, 1881, 1905, 1919, 1929, 1936, 1940, 1945, 1957, 1962, 1979 e 1991, e em janeiro de 2000 ocorreu a maior cheia já observada no município (IGAM, 1999 e Machado, 2005).

No evento de 2000, iniciado na noite de 31 de dezembro de 1999, mais de 70% da área urbana de Itajubá foi inundada com profundidades de submersão que ultrapassaram 3 (três) metros em determinados locais e duração superior a 3 (três) dias. Para esta cheia foram registradas quatro mortes e mais de 20.000 desabrigados. O estudo de Vianna (2000) indicou uma vazão de $290\text{m}^3/\text{s}$ para o evento de 1991, o que corresponde a uma cota de 7,9m na estação fluviométrica na saída da bacia hidrográfica do rio Sapucaí. Para o evento de 2000 são estimadas uma vazão de pico da ordem de $390\text{m}^3/\text{s}$ e uma altura de 8,5 metros na mesma estação (Machado, 2005). As Figuras 7.3 e 7.4 ilustram o município de Itajubá durante o evento de janeiro de 2000.



Figura 7.3 - Município de Itajubá durante o evento de janeiro de 2000



Figura 7.4 - Município de Itajubá durante o evento de janeiro de 2000

Além de Itajubá, foram seriamente atingidos os municípios de Santa Rita do Sapucaí, Pouso Alegre, Piranguinho e Conceição dos Ouros. Em todos estes foi decretado estado de calamidade pública.

Os dados apresentados pelo IGAM (1999) foram precedidos de extenso levantamento de campo com a finalidade de cadastrar e nivelar as marcas da cheia de 1991, reproduzir a morfologia fluvial da calha do rio Sapucaí por meio do levantamento de 21 (vinte e uma) seções topobatimétricas da calha menor do rio, e cadastrar as singularidades hidráulicas e confluências no trecho de 12 km que compreende o trecho do rio que atravessa o município de Itajubá. Para a obtenção das seções transversais da planície de inundação nas seções topobatimétricas (Figura 7.5), efetuou-se a extrapolação baseada em plantas de restituição fotogramétrica em escala 1:2000 (Machado, 2005).

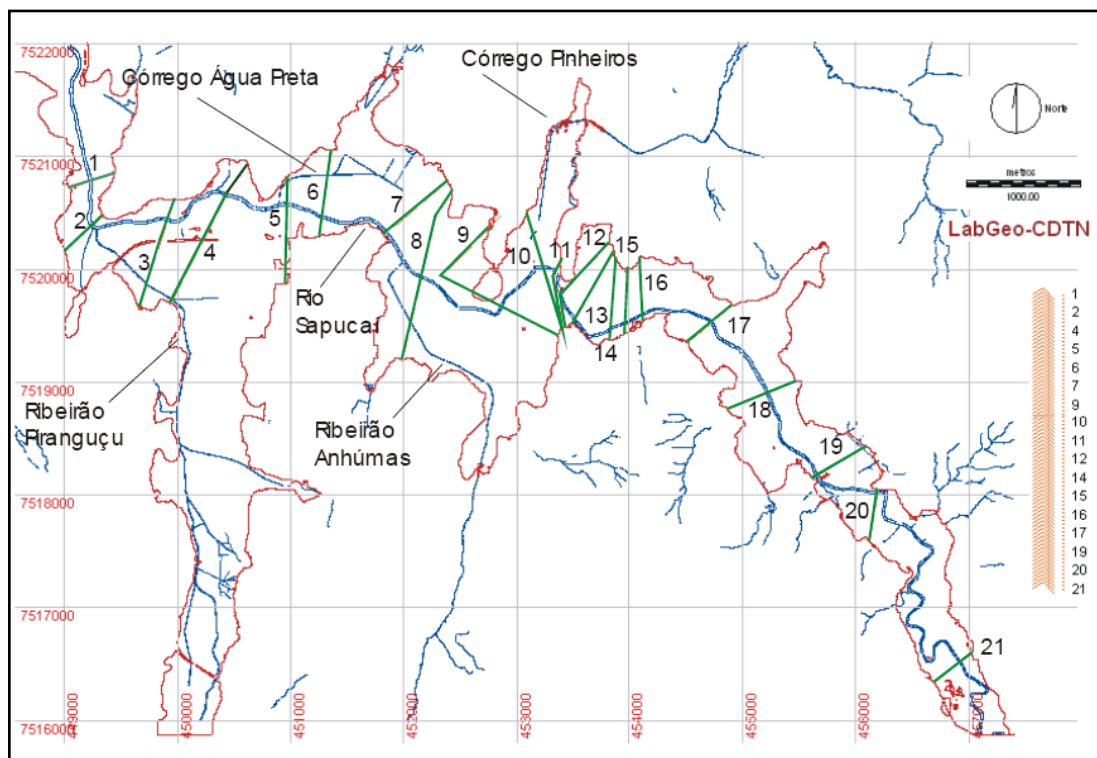


Figura 7.5 – Seções topobatimétricas no trecho do rio Sapucaí em Itajubá (Machado, 2005)

A Figura 7.6 mostra a divisão de setores censitários do município de Itajubá e a Figura 7.7 a localização da zona comercial do município.



Figura 7.6 – Setores censitários de Itajubá (Machado, 2005)

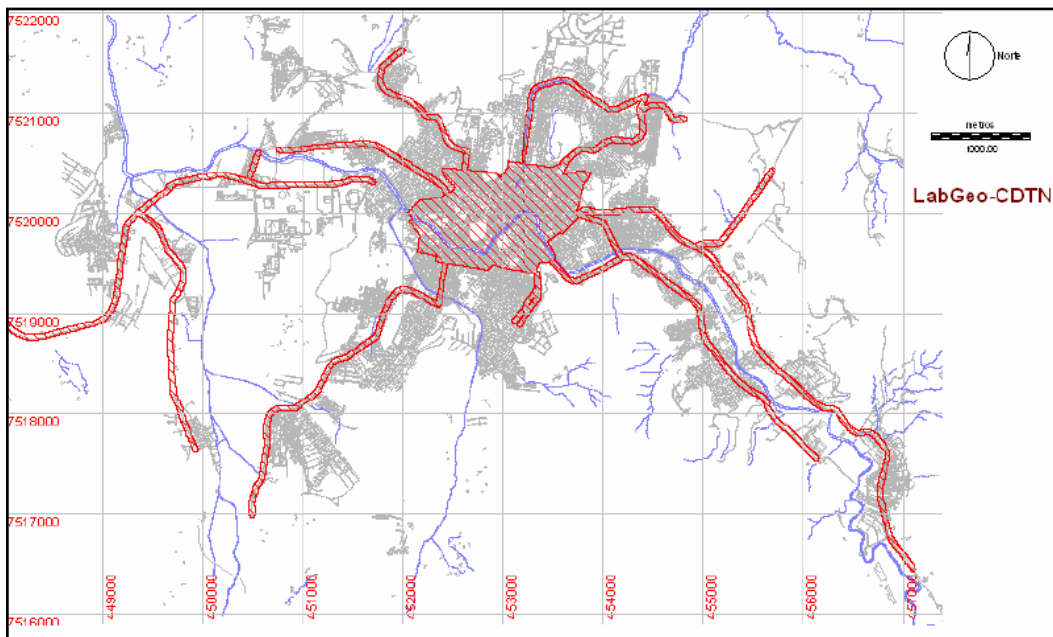


Figura 7.7 – Localização da zona comercial de Itajubá (Machado, 2005)

Para a determinação das áreas inundáveis relativas a diferentes períodos de retorno utilizou-se os resultados obtidos pelo IGAM (1999) tomados a partir da estação fluviométrica 61272000. Nesse estudo, após realização da análise de frequência de cheias,

utilizando as amostras dos máximos anuais da maior vazão observada às 7:00 ou 17:00 h do dia de ocorrência da vazão de pico, aplicou-se a fórmula de Fuller apresentada pela Equação 7.1.

$$Q_p = Q_{m\acute{a}x} \left(1 + \frac{2,66}{A^{0,3}} \right) \quad \text{Eq. (7.1)}$$

Onde:

Q_p - vazão de pico (m^3/s)

$Q_{m\acute{a}x}$ - máximo anual de vazão média diária (m^3/s)

A - área de drenagem da estação (km^2)

Ajustando-se a distribuição de Gumbel foram obtidos os valores das vazões apresentados na Tabela 7.1, mostrada a seguir, para o rio Sapucaí em Itajubá (61272000).

Tabela 7.1 – Análise de frequência de vazões de cheia (IGAM, 1999)

Período de Retorno (anos)	Vazão Máxima Média Diária (m^3/s)	Vazão de Pico (m^3/s)
2	124	167
5	169	228
10	199	268
25	236	319
50	264	357
100	292	394

7.2 – CENÁRIOS DE ANÁLISE

Foram definidos 04 (três) cenários para a análise e proposição de medidas de controle de inundações. Para definição dos cenários foram observadas as recomendações constantes no item 3.0 deste estudo em conjunto com as necessidades de proteção observadas para a área de estudo.

7.2.1 – Situação atual (Cenário A)

O primeiro cenário tomado foi a situação atual sem a incorporação de medidas de controle de inundações. Esse cenário servirá como referência para avaliar as melhorias que poderão advir da introdução das medidas para o controle de inundação e, além disso, dependendo do nível dos impactos sofridos pelo município, a convivência com as enchentes pode

configurar uma solução plausível para a administração local. Em termos financeiros, a contabilização das indenizações pelas perdas quando da ocorrência desses eventos, pode restringir o leque de soluções viáveis para o problema.

Outra possibilidade que justifica a ocupação atual como cenário de análise é a possibilidade de haver a realocação da população em virtude de limitações físicas para a implantação de alternativas de controle e/ou ineficiência destes dispositivos. Assim, analisados todos os impactos decorrentes dessa solução, a desocupação com realocação definitiva das zonas de maior risco pode se apresentar como a medida mais eficiente.

Os dados utilizados para o levantamento de características físicas e de ocupação do município de Itajubá fazem parte dos arquivos da prefeitura municipal e da COPASA. Essa base de dados contém os limites do município, a rede hidrográfica existente, as delimitações de quadras, lotes e ruas, curvas de nível a cada 10 metros e ainda o levantamento aerofotogramétrico realizado no ano de 2000, cujas ortofotos serviram de base para a obtenção de dados de ocupação necessários à presente análise. Para uma melhor resolução dos resultados, curvas de nível a cada 1 metro obtidas junto à COPASA formaram a base de dados de relevo utilizada. Essa base de dados foi utilizada em todo o processo de definição das alternativas de controle propostas e no mapeamento das superfícies de inundação. Essa etapa do trabalho será descrita mais adiante em tópico específico.

As demais situações definidas para a aplicação do suporte metodológico encontram-se descritas nos itens a seguir.

7.2.2 – Implantação de sistema de contenção de cheias (Cenário B)

O arranjo proposto pela COPASA e pelo governo do estado de Minas Gerais para o combate às enchentes na bacia hidrográfica do rio Sapucaí é composto por um conjunto de 4 (quatro) barramentos conforme pode ser visto na Figura 7.8. O arranjo definido consta de estruturas hidráulicas e reservatórios de detenção projetados para os rios Sapucaí, Lourenço Velho, Sapucaí Mirim e ribeirão Vargem Grande. O sistema de reservatórios tem o objetivo de controlar as enchentes em áreas urbanas a jusante, tendo como beneficiados os municípios de Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre.

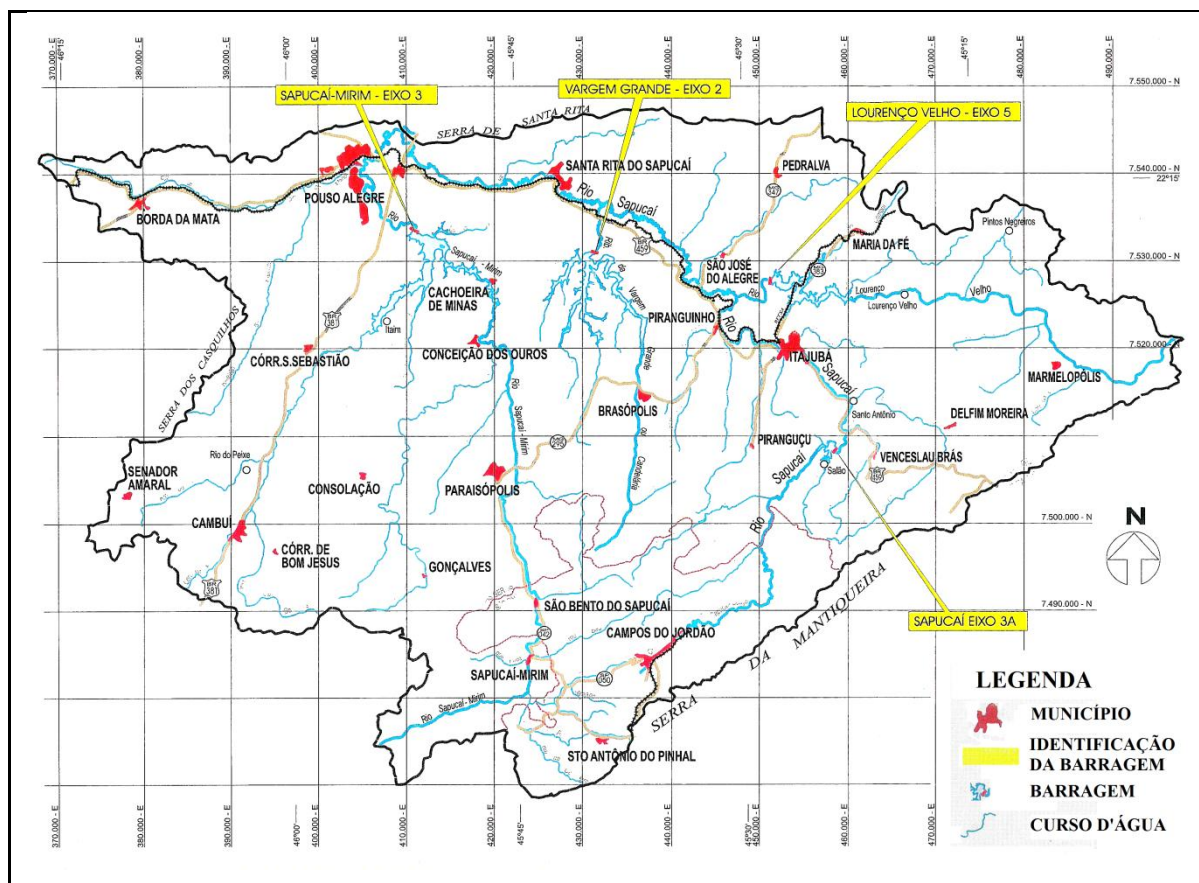


Figura 7.8 – Esquema de funcionamento do sistema de reservatórios (COPASA, 2001)

Atuando diretamente sobre o município de Itajubá e localizado no rio Sapucaí, o arranjo selecionado denominado Reservatório de Detenção no Rio Sapucaí - Eixo 3A está posicionado entre os municípios de Venceslau Brás e Itajubá tendo sua localização aproximada nas coordenadas 7.508.500N e 458.300E. O objetivo principal da barragem é de reduzir o pico dos hidrogramas de cheias e a contenção de parte da vazão de escoamento superficial advinda das nascentes do Rio Sapucaí a montante da cidade de Itajubá.

O reservatório de detenção é constituído por um maciço de concreto posicionado sobre o leito do rio Sapucaí, não tendo o seu barramento nenhuma influência sobre as vazões mínimas. As vazões de enchente a serem liberadas sob controle pela estrutura do reservatório serão descarregadas por galerias de transposição posicionadas ao nível do leito atual do rio, com a seguinte disposição:

- uma galeria de seção quadrada, sem controle com as dimensões: 1,5 x 1,5 m;
- duas galerias controladas por comporta com as dimensões: 2,0 x 2,0 m.

As dimensões do orifício de controle sem comportas foram fixadas de modo a liberar uma descarga máxima de $36 \text{ m}^3/\text{s}$ para a cheia de projeto e para a condição do nível do reservatório alcançar o nível de água máximo normal. As vazões e níveis de referência foram fixados de modo a proteger os municípios a jusante do reservatório e oferecer uma garantia de proteção adicional para o município de Itajubá. As comportas do reservatório serão fechadas quando o nível de água na cidade de Itajubá atingir o nível crítico e a descarga do reservatório passará a operar apenas pelo orifício de controle. Detalhes sobre a barragem 3A encontram-se no Anexo D.

7.2.3 – Implantação de dique de contenção (Cenário D)

O terceiro cenário previsto para a solução dos problemas relacionados às inundações no município de Itajubá é a implantação de diques laterais ao longo do rio Sapucaí na extensão da região mais densamente ocupada do município. Para cobrir essa área foi previsto um dique que se estende entre as seções topobatimétricas de números 17 a 7. Essas seções foram definidas a partir do traçado das manchas de inundação para os diferentes tempos de retorno definidos para o estudo e da observância das áreas de maior concentração habitacional e comercial mostradas nas fotografias aéreas e mapeamento digital da área utilizados.

Os diques previstos serão de terra com revestimento em concreto acompanhado de um canal evacuador lateral em cada margem para recebimento do escoamento gerado nas áreas laterais a ele, conforme pode ser visto na Figura 7.9. As alturas dos diques serão variáveis ao longo da extensão do mesmo conforme o nível da água em cada seção previsto para uma vazão de 100 anos de período de retorno para Itajubá ($394 \text{ m}^3/\text{s}$) conforme pode ser visto na Tabela 7.2.

O escoamento gerado nas áreas adjacentes aos diques e transportadas pelo canal serão restituídas ao rio Sapucaí após a última seção do dique (seção 7).

Para a execução dessa medida, 5 (cinco) pontes que atravessam o rio Sapucaí na extensão do dique dentro da área urbana do município deverão ser substituídas de maneira adequada à conformação final do dique e com a urbanização existente. Além da substituição das pontes, a calha do rio Sapucaí deverá sofrer intervenções no sentido de proteger as margens de possíveis efeitos decorrentes da alteração do regime de escoamento original.

Tabela 7.2 - Alturas dos diques em cada seção topobatimétrica

Seção	Margem esquerda (m)	Margem direita (m)
17	3.97	4.15
16	2.72	2.81
15	2.45	3.04
14	2.98	4.16
13	1.55	3.91
12	2.30	1.98
11	2.39	2.44
10	3.04	2.65
9	4.01	2.24
8	2.95	3.72
7	2.63	3.02

Para a implantação dos diques e dos canais laterais, e para os demais trabalhos de adequação do espaço físico local será reservada uma faixa de domínio de 30 metros paralelamente às margens do rio Sapucaí dentro do trecho onde será introduzido o dique.

As dimensões previstas para essa intervenção foram obtidas conforme Przedwojski *et al.* (1995) e é definida uma base de 22 metros, largura de crista igual a 2,0m tendo sido prevista uma borda livre de aproximadamente 1 metro entre a superfície da água e a crista do dique. Na faixa de domínio do dique será necessária a desapropriação de 79992m² ocupados por lotes na zona urbana de Itajubá em ambas as laterais do curso de água.

Para a determinação das dimensões necessárias para o canal paralelo foi feita a estimativa da vazão proveniente das áreas laterais do dique. Na simulação considerou-se a área ocupada da margem direita do rio Sapucaí por ser a mais extensa entre as áreas laterais. A área utilizada na determinação da vazão pelo programa ABC6 da Universidade de São Paulo foi equivalente a 4,35 km² com 60% de área impermeável num comprimento de aproximadamente 4,4 km. A vazão encontrada foi 32 m³/s para uma duração de precipitação de 24 horas. A vazão determinada foi inserida no programa HIDROWin da Universidade Federal de Minas Gerais, sendo este utilizado no dimensionamento dos canais laterais aos diques. Para o dimensionamento foi definida uma largura para o canal de 5,0 metros e uma declividade média de 0,0005m/m para um canal de concreto com seção retangular e a altura necessária considerando uma borda livre de 50cm.

A Figura 7.9 apresenta a identificação da faixa de domínio do dique e das áreas a serem

desapropriadas para a construção do mesmo. A Figura 7.10 apresenta um esquema do dique com as respectivas dimensões.

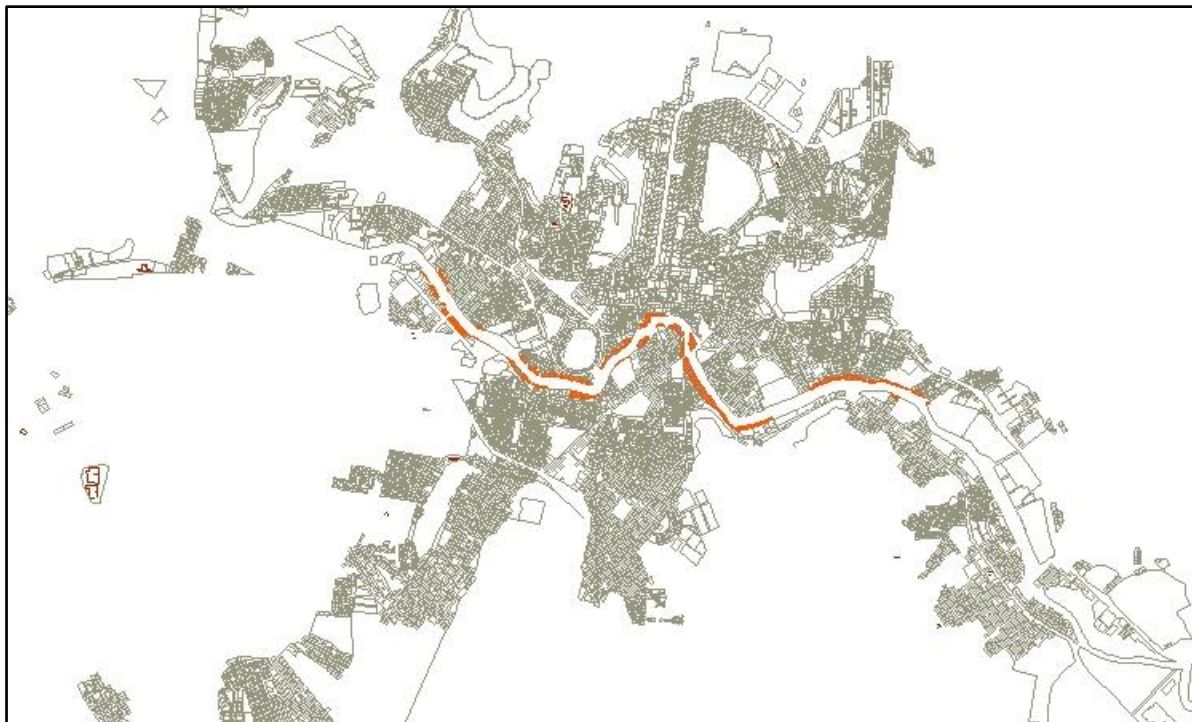


Figura 7.9 – Demarcação das áreas de desapropriação do dique

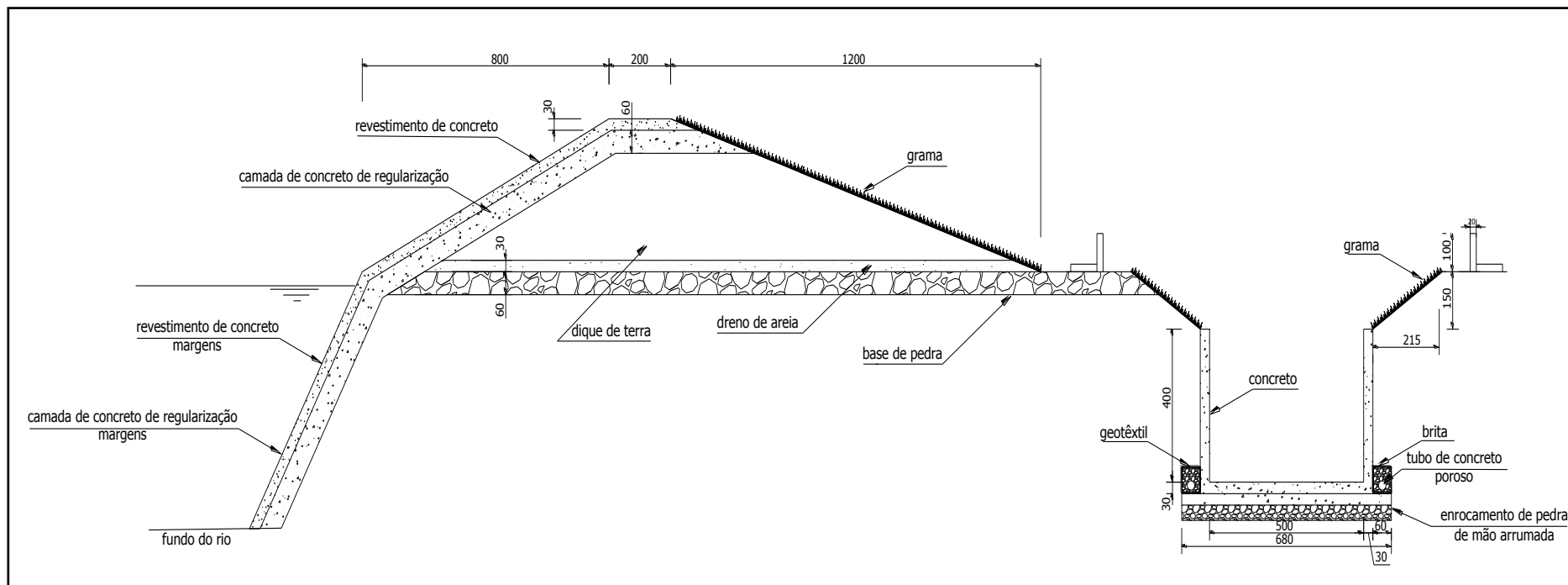


Figura 7.10 – Esquema de funcionamento dos diques e canais laterais

7.2.4 – Implantação de um sistema de previsão e alerta (Cenário S)

O último dos cenários para mitigação dos danos decorrentes das inundações proposto para o município de Itajubá consta de um sistema de previsão e alerta. A rede deverá ser constituída de estações telemétricas de monitoramento contínuo de precipitações e níveis d'água nos cursos d'água dentro da área.

O monitoramento da precipitação será realizado por meio da instalação de estações pluviométricas equipadas com pluviógrafos de báscula, sendo as estações equipadas ainda, com um painel solar para alimentação elétrica.

O monitoramento contínuo dos níveis d'água ao longo do rio Sapucaí e principais tributários será feito por meio de estações fluviométricas dotadas de sensores de pressão de água, também dotadas de painel solar para alimentação elétrica (Nascimento *et al.* 2008).

O número de pluviógrafos previstos para compor o sistema de alerta pode ser calculado utilizando o critério proposto por Schilling (1983) *apud* Nascimento *et al.* (2008) descrito na Equação 7.2.

$$N_p = \sqrt{A} \quad (\text{Eq. 7.2})$$

Onde:

N_p - número de pluviógrafos

A - área da bacia em km^2

Para a área urbana do município de aproximadamente 24km^2 são previstos 5 (cinco) pluviógrafos e propõe-se a instalação de 7 (sete) estações fluviométricas distribuídas ao longo da extensão do rio Sapucaí e de seus afluentes. Com essa quantidade de equipamentos espera-se fornecer um acompanhamento adequado dos níveis de água para uma previsão com antecedência de 12 horas, tendo sido este o intervalo de maior aproveitamento para a previsão dos danos no município segundo os resultados obtidos por Lima (2003).

Detalhes sobre a descrição dos equipamentos previstos para a composição da rede telemétrica está apresentada no Anexo D.

7.3 – MODELAGEM APLICADA

Os indicadores de vulnerabilidade propostos para a avaliação do desempenho dos cenários foram formulados tomando como referência aspectos da ocupação da área, aspectos relacionados ao relevo local conjugados com parâmetros da inundação. Para a obtenção desses dados para o município de Itajubá foram utilizados o modelo hidráulico HEC-RAS versão 4.0 (U. S. Army Corps of Engineers) e o programa ARC GIS versão 9.3 (ESRI).

Para o caso da modelagem hidráulica foram utilizados os resultados do estudo desenvolvido por Vianna (2000). Nesse estudo já haviam sido inseridas as seções transversais das 21 seções topobatimétricas citadas anteriormente e o modelo já havia sido calibrado utilizando registros das cheias anteriores à de 2000.

Os dados de entrada do modelo HEC-RAS foram a curva-chave para a seção topobatimétrica de número 1 (extremidade a jusante) e as vazões de pico previstas para cada um dos períodos de retorno definidas pelo IGAM (1999) conforme consta da Tabela 7.1. As contribuições ao longo do trecho em análise na modelagem foram desprezadas por se considerar que os efeitos das mesmas seriam insignificantes perto das condições de escoamento da área a montante uma vez que a área em questão representa menos de 10% da área de contribuição de montante.

Foram definidos três períodos de retorno para a análise a partir de considerações relativas à escala espacial do estudo: 10, 50 e 100 anos. A modelagem hidráulica para obtenção dos níveis de água em cada seção topobatimétrica em cada cenário foi feita utilizando o modelo HEC-RAS considerando regime de escoamento permanente. A Figura 7.11 apresenta o perfil do nível da água no rio Sapucaí no trecho de 12km do mesmo que corta o município de Itajubá e as Figuras 7.12 a e b apresentam exemplos das seções de escoamento com geometrias bastante diferentes.

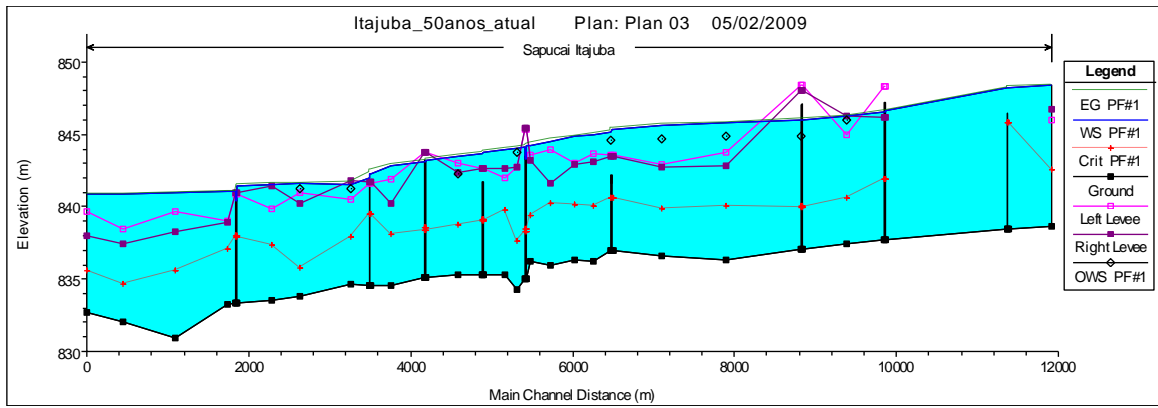
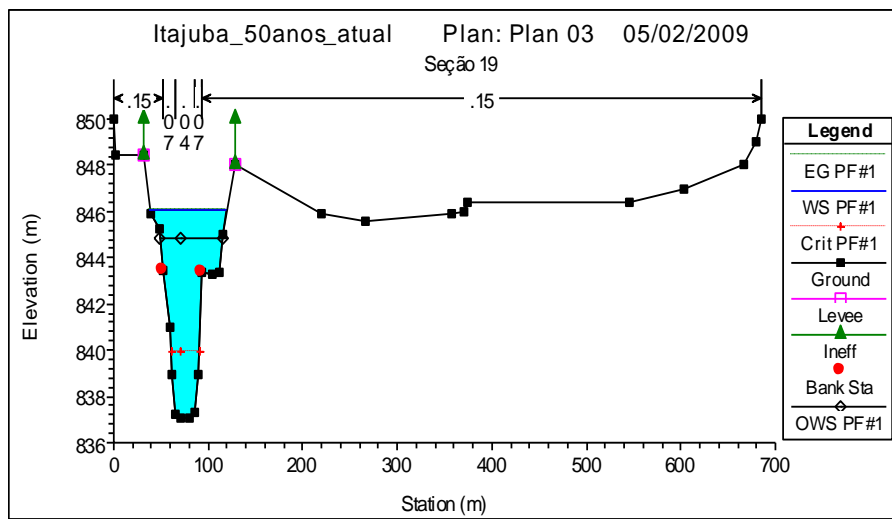
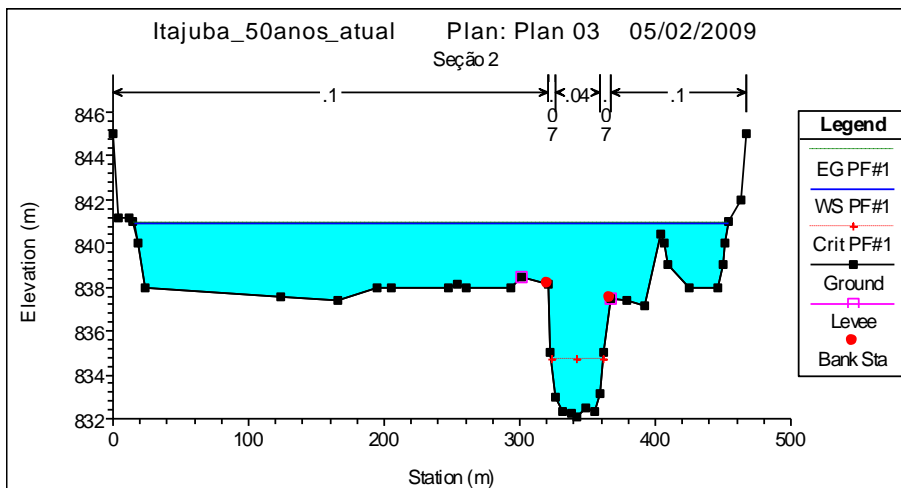


Figura 7.11 – Perfil do escoamento para TR=50 anos no modelo HEC-RAS



a) Seção 19



b) Seção 2

Figura 7.12 – Seções de escoamento no modelo HEC-RAS para TR=50 anos

Para a estimativa da duração da inundação e para a obtenção da vazão com duração de 24 horas necessária para o cálculo de um dos indicadores, foi feita a simulação hidrológica da

área a montante da seção topobatimétrica 21. A simulação do escoamento foi feita usando o modelo ABC6 da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo tomando como base uma duração de chuva de 24 horas uma vez que na região em estudo, a ocorrência de enchentes está relacionada a chuvas frontais com distribuição generalizada em toda a bacia e duração superior a 24 horas. Para a obtenção do hidrograma tomou-se a área a montante do município de Itajubá da ordem de 885km² (IGAM, 1999), obtendo-se os hidrogramas mostrados na Figura 7.13. O hidrograma gerado pelo modelo ABC foi útil, também, para aplicação do método de propagação de vazão proposto no item 6.2.3.1.

A partir dos hidrogramas da Figura 7.13 foi possível obter as vazões com duração de 24 horas para cada período de retorno e o resultado encontra-se na Tabela 7.3.

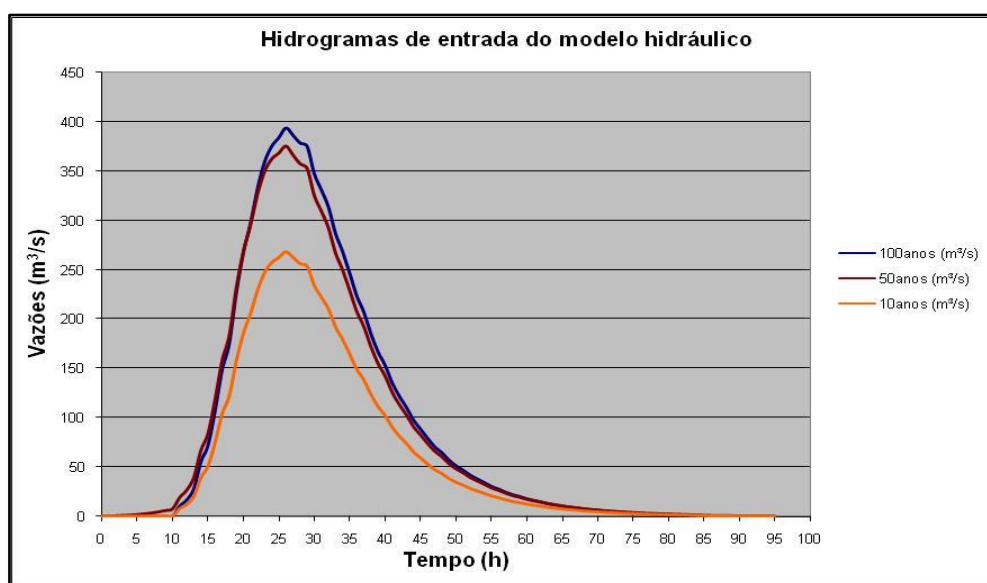


Figura 7.13 – Hidrogramas resultantes do modelo ABC6

Tabela 7.3 – Vazões com duração de 24 horas

Período de retorno (anos)	Vazões com duração de 24 horas (m ³ /s)
100	145
50	140
10	100

Para a inserção do dique foi considerado que não haviam áreas de armazenamento laterais (*ineffective areas*) e que todo o escoamento que chegava no curso d'água escoava nas limitações do dique. Assim, os diques foram posicionados nos limites das margens e sua altura foi definida em função da vazão prevista para uma cheia de 100 anos de período de

retorno durante o processamento.

A partir dos níveis de água obtidos na modelagem usando o modelo HEC-RAS foi possível traçar as manchas de inundação para cada situação considerada utilizando o programa ARC GIS e os dados de relevo locais.

Os dados em meio digital utilizados para o estabelecimento das características locais fizeram parte de um mapeamento da prefeitura municipal de Itajubá e dados disponibilizados pela regional da COPASA naquele município. As curvas de nível utilizadas foram as curvas mestras (5 metros) e intermediárias (1 metro) fornecidas pela COPASA dando origem ao MNT mostrado na Figura 7.14 gerado no ARC GIS. Dos arquivos cedidos pela prefeitura foram utilizados o levantamento aerofotogramétrico com ortofotocarta executado em agosto de 1999 e a delimitação de quadras, lotes e hidrografia. Esses arquivos foram manipulados no programa AutoCAD Map da Autodesk versão 2004 e preparados para utilização no ARC GIS de modo a obter os níveis de informação necessários para a determinação dos indicadores de vulnerabilidade e dos indicadores de custo.

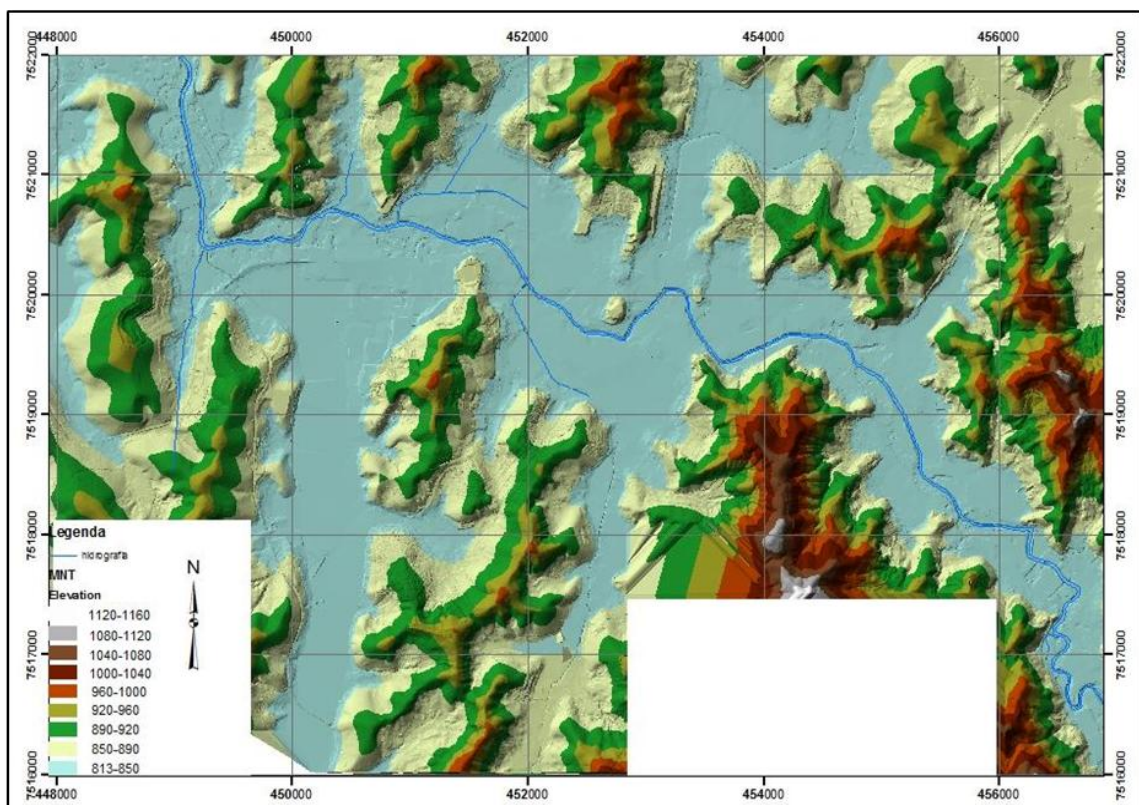


Figura 7.14 - Modelo Numérico do Terreno para o município de Itajubá

Algumas das informações necessárias tais como os lotes vazios da área urbana e a delimitação da mesma foram digitalizados no Auto CAD e manipulados posteriormente no ARC GIS.

Várias das informações utilizadas no cálculo dos indicadores foram extraídas diretamente das operações executadas no ARC GIS. Dentre elas estão a determinação das superfícies e dos volumes de escoamento para diferentes condições consideradas no estudo, os quantitativos relacionados às superfícies inundadas para diferentes alturas de submersão, as áreas identificadas com declividades de interesse e o resultado de operações tais como a área da intersecção entre uma mancha de inundação, as áreas com determinada declividade e as áreas vazias identificadas no município.

Os resultados obtidos na modelagem encontram-se apresentados nas Figuras 7.15 a 7.24. A Figura 7.15 mostra a área urbana de Itajubá com a mancha de inundação prevista para um período de retorno de 100 anos com a ocupação atual. A Figura 7.16 apresenta as manchas de inundação para os três períodos de retorno considerados para a ocupação atual e a Figura 7.17 apresenta as manchas de inundação para os mesmos períodos de retorno considerando a inserção dos diques laterais entre as seções 7 e 17. Os vazios e espelhos d'água da área urbana de Itajubá encontram-se demonstrados na Figura 7.18.

Para o cálculo de um dos indicadores de vulnerabilidade foi necessário confrontar: as áreas inundadas por período igual ou superior a 24 horas para cada período de retorno em ambas as situações, atual e com os diques laterais; e as áreas ocupadas por lotes vagos com terrenos descobertos ou com vegetação rasteira e elementos que mantivessem espelhos d'água permanentes (piscinas, lagoas, reservatórios, etc.) dentro da área com declividade igual a 1% ou menor. Para os períodos de retorno adotados foram encontradas vazões de 24 horas de duração de $145 \text{ m}^3/\text{s}$, $140 \text{ m}^3/\text{s}$ e $100 \text{ m}^3/\text{s}$ conforme apresentado na Tabela 7.3, respectivamente para os períodos de retorno de 100, 50 e 10 anos. Essas vazões foram propagadas em regime permanente no HEC-RAS e as profundidades de nível d'água determinadas lançadas no ARC GIS para determinação das respectivas manchas de inundação. Os resultados dessa operação podem ser vistos nas Figuras 7.19 e 7.20. A intersecção destas manchas de inundação com os níveis de declividade e de vazios e áreas com espelho d'água permanente encontram-se detalhados na Figura 7.21.

Para auxiliar o processo de determinação dos indicadores de custo, as manchas de inundação para os períodos de retorno considerados em ambas as situações (atual e com diques) foram divididas em faixas de profundidade em intervalos de 50cm. Exemplos dessa operação podem ser vistos nas Figuras 7.22 para a área urbana de Itajubá como um todo e na Figura 7.23 a mesma situação aplicada apenas à área comercial e de serviços.

Posteriormente à obtenção dos dados necessários procedeu-se o cálculo dos indicadores definidos para compor a análise.

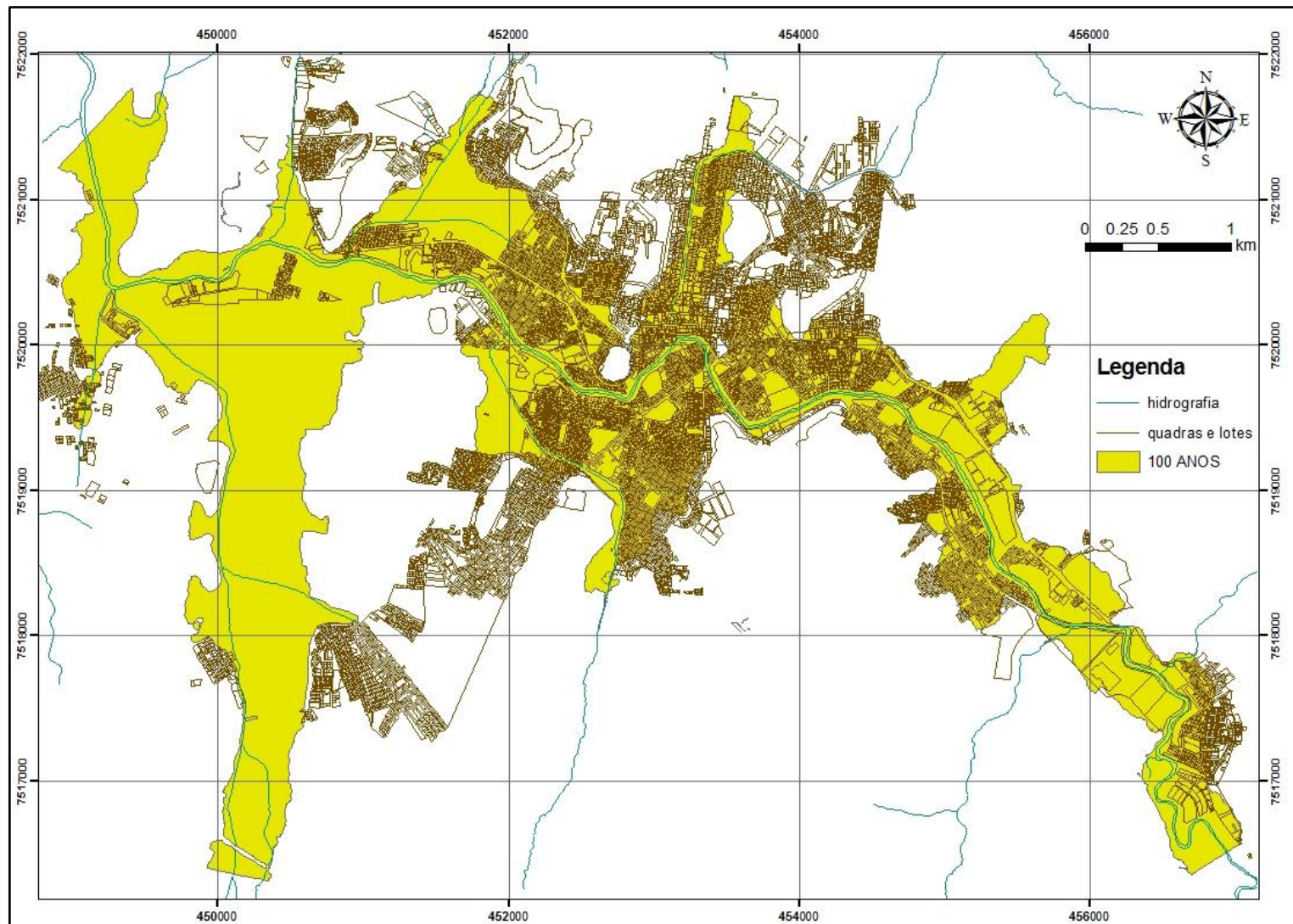


Figura 7.15 – Mancha de inundação para período de retorno de 100 anos com a malha urbana

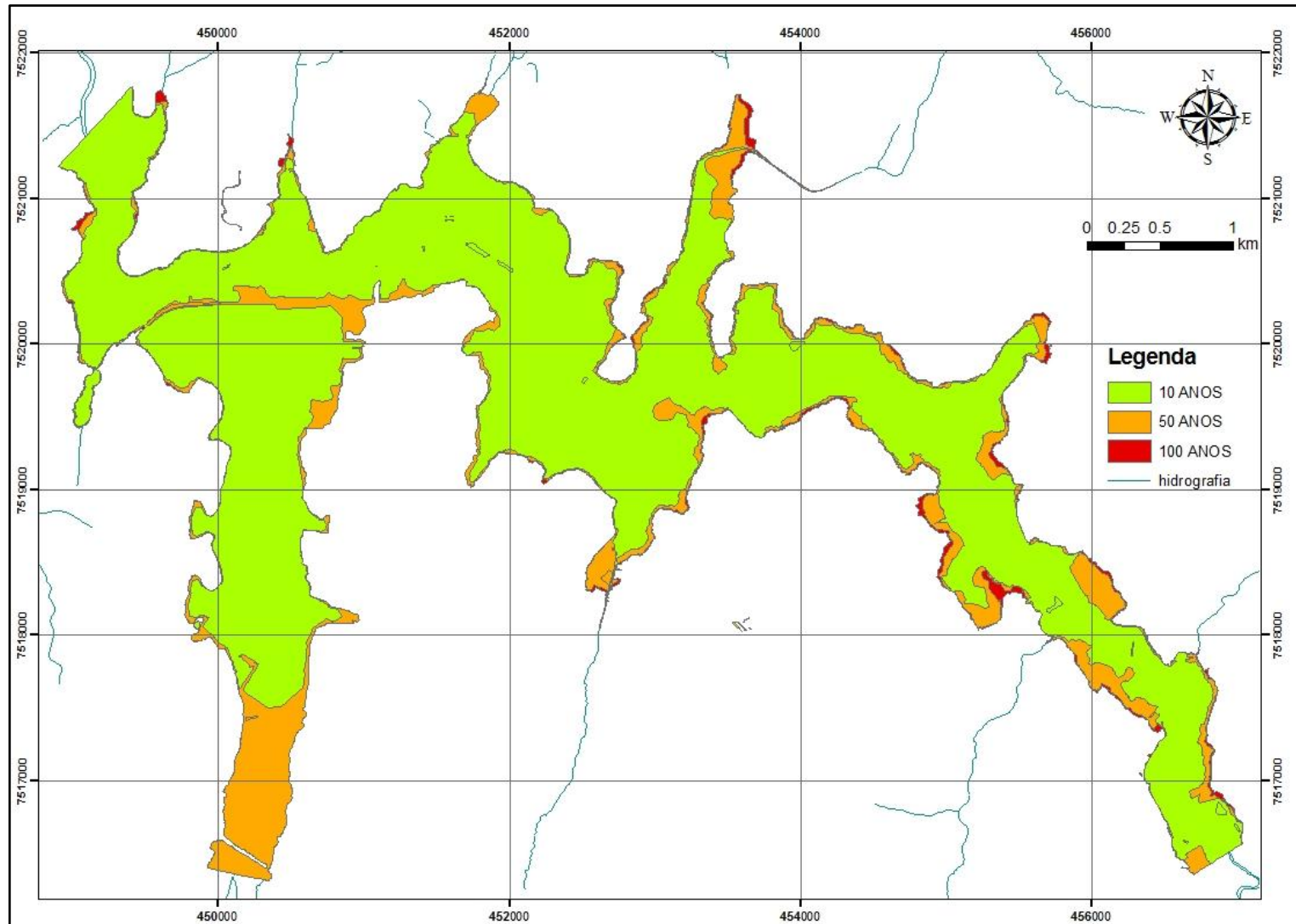


Figura 7. 16 – Manchas de inundação para diferentes períodos de retorno cenário atual

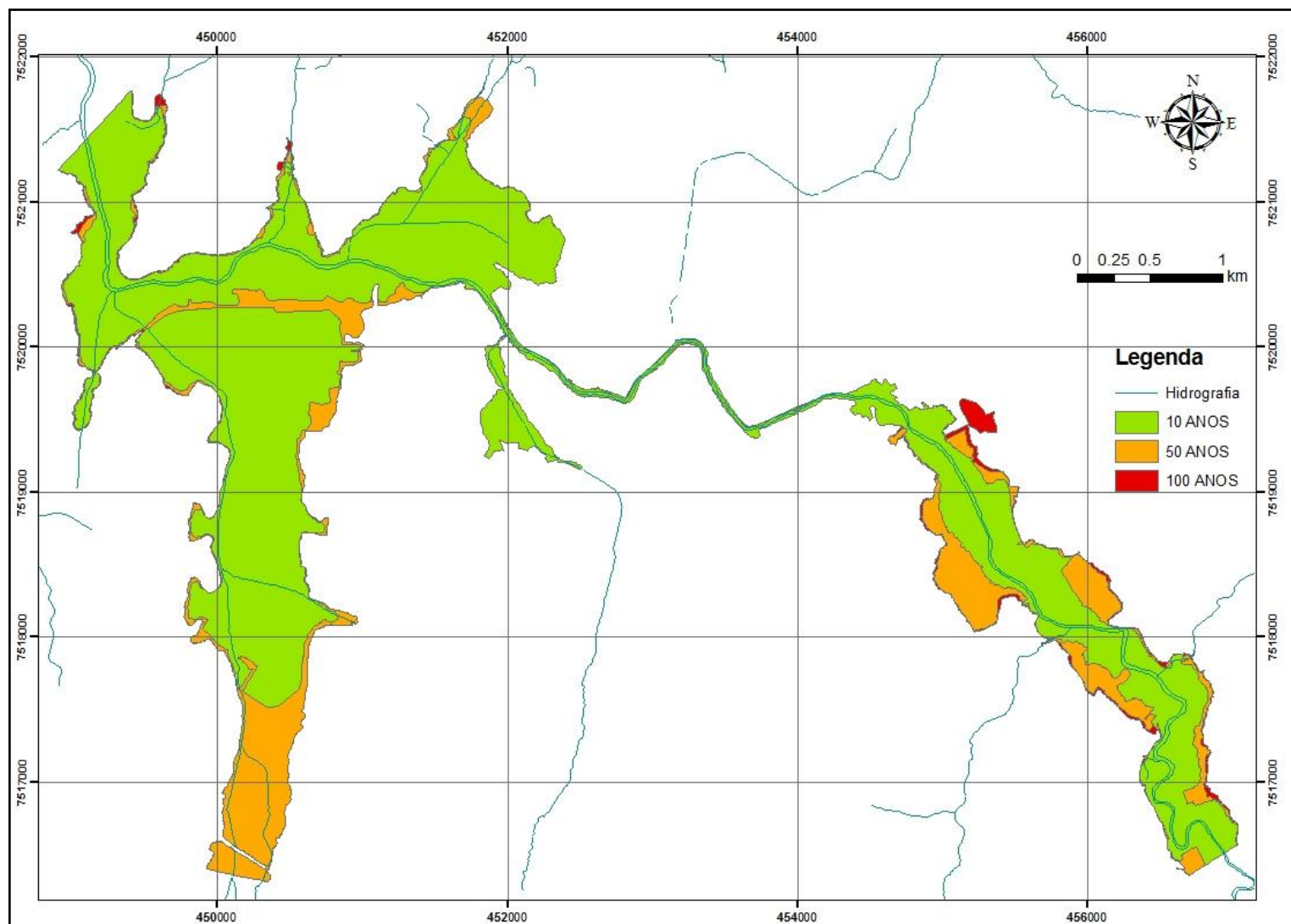


Figura 7.17 – Manchas de inundação para diferentes períodos de retorno para a implantação dos diques

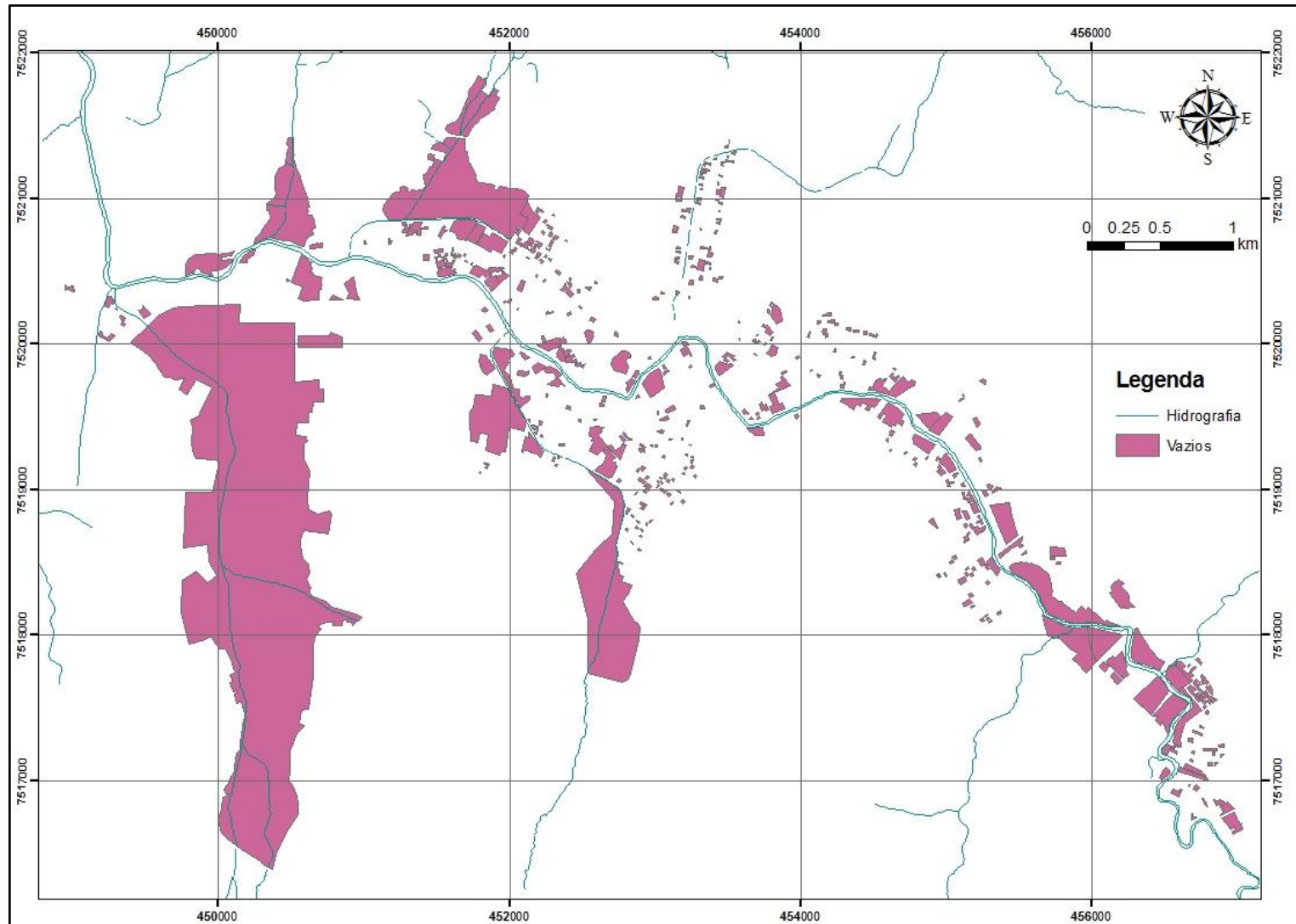


Figura 7.18 – Delimitação dos lotes vazios e áreas com espelho d'água permanente

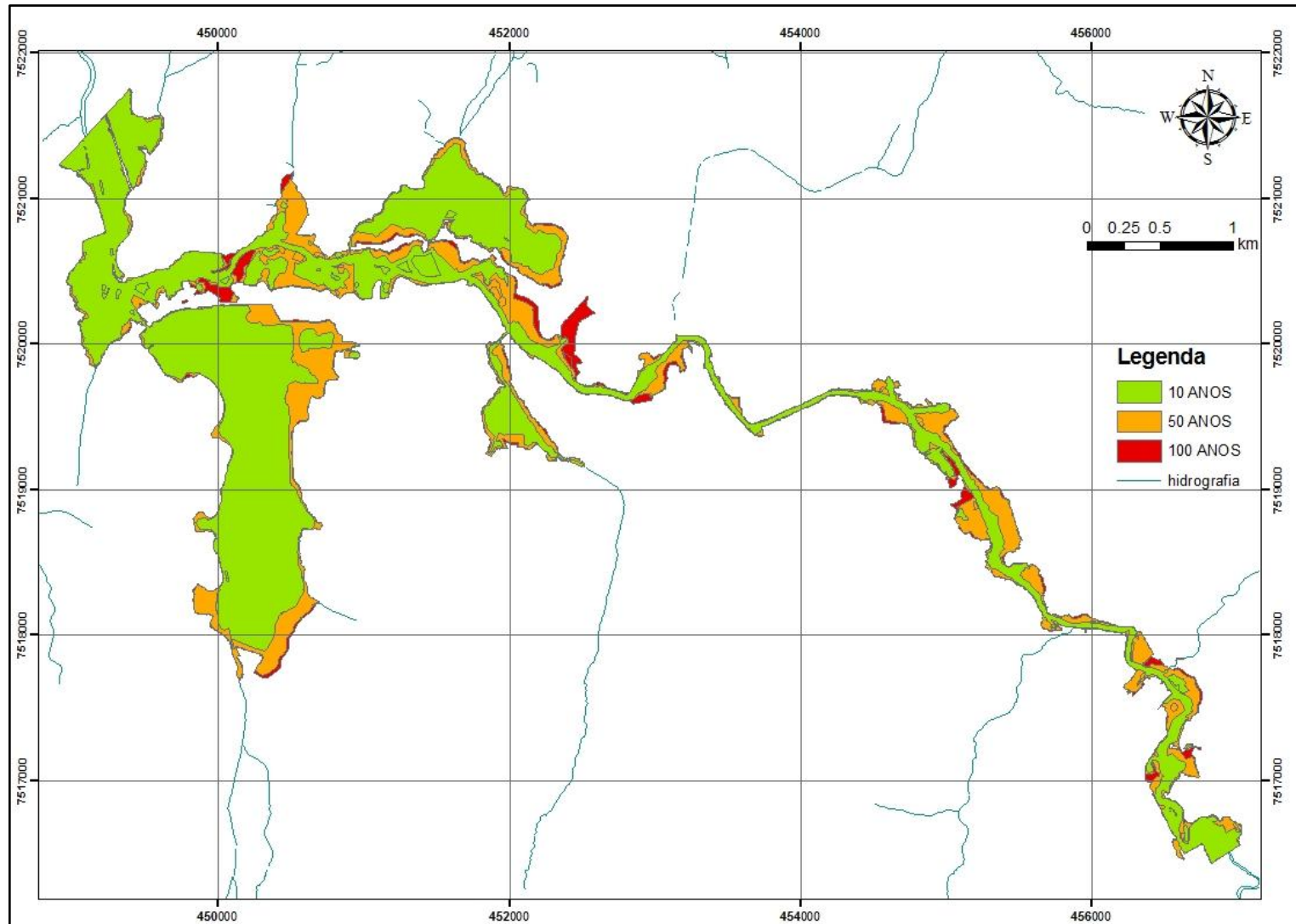


Figura 7. 19 – Manchas de inundação para a vazão de 24 horas de duração para o cenário atual

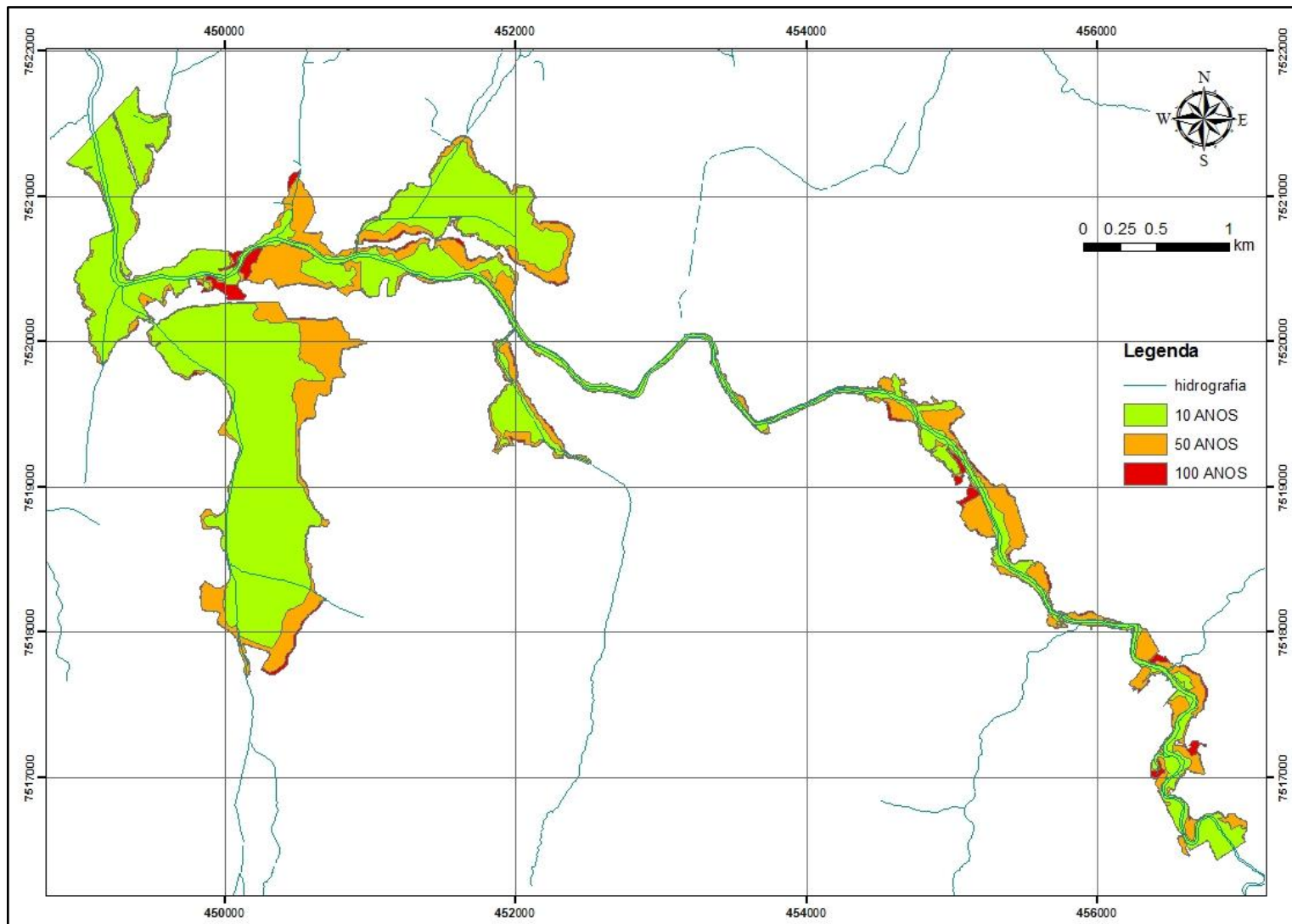


Figura 7.20 – Mancha de inundação para vazão de duração de 24 horas cenário com dique

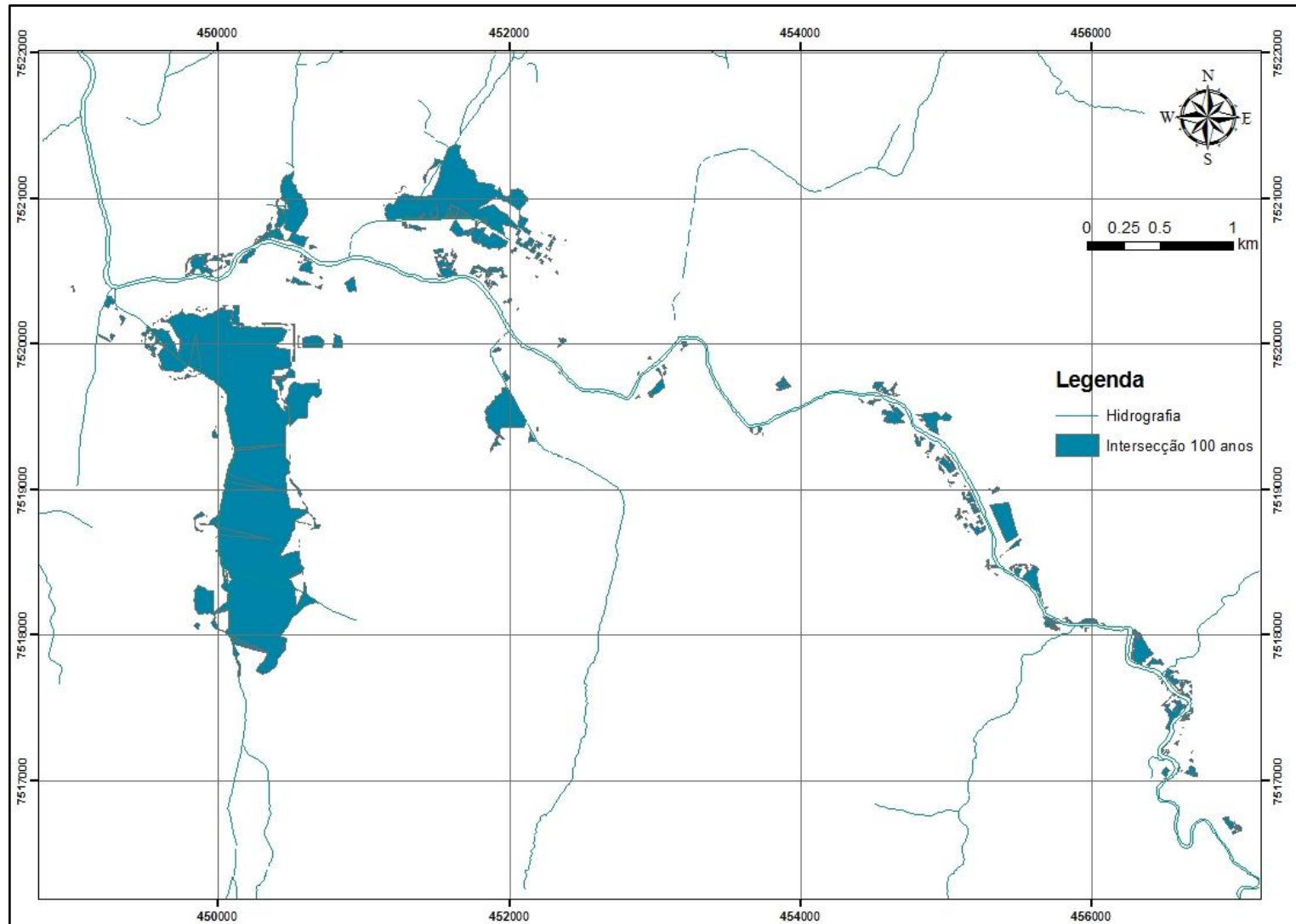


Figura 7.21 – Intersecção entre mancha de inundação de 100 anos no cenário atual para vazão de 24 horas, vazios e declividade \leq a 1%

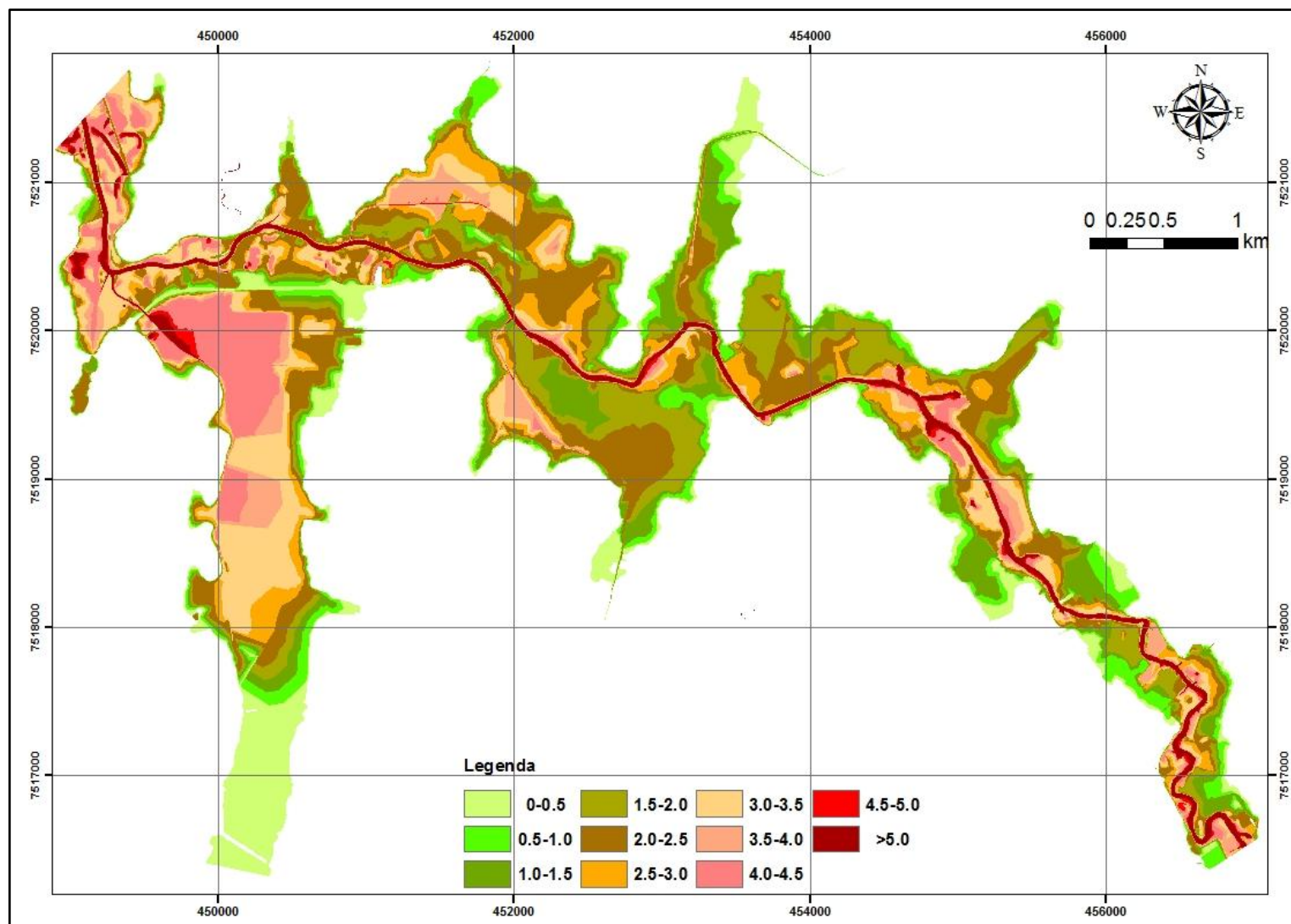


Figura 7.22 – Intervalos de profundidade de submersão para período de 100 anos cenário atual

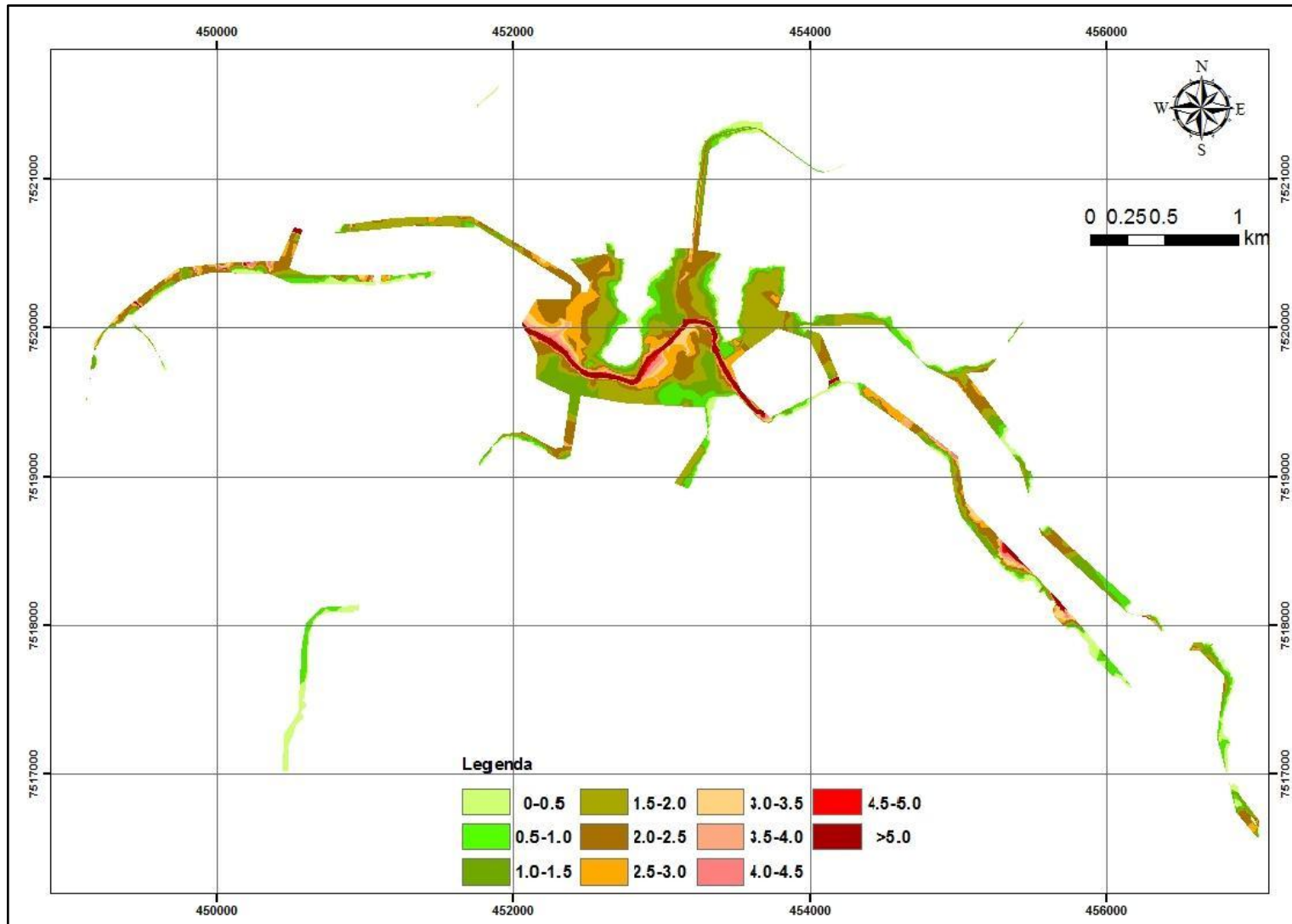


Figura7.23 - Intervalos de profundidade de submersão para período de retorno de 100 anos cenário atual comércio e serviços

7.4 – CÁLCULO DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE PARA OS CENÁRIOS

Os indicadores de vulnerabilidade propostos foram aplicados ao município de Itajubá nos cenários anteriormente descritos de modo a avaliar o desempenho de cada um deles na solução dos problemas de inundação para a região.

Para a aplicação da metodologia para os cenários definidos para este município foram selecionados 9 (nove) dos 10 (dez) indicadores formulados. Conforme consta no texto explicativo do agrupamento final dos indicadores, não foi considerado um fator de relevância o indicador ligado à poluição accidental (I_{PA}) em virtude do tipo de ocupação da área e das atividades predominantes nesta. Com a exclusão do I_{PA} , o peso atribuído a este indicador foi distribuído entre os indicadores do mesmo critério ao qual ele pertencia.

Os dados necessários para o cálculo dos indicadores são os seguintes:

- ✓ Área ocupada pela mancha urbana do município (km^2);
- ✓ Área ocupada por superfícies de solo nu, bacias de retenção, piscinas, etc. comum ao nível de informação de declividade menor ou igual a 1% na área urbana dentro da mancha de inundação de duração igual a 24h (km^2);
- ✓ Área inundada por vazão de duração de 24 horas (km^2);
- ✓ Superfície de drenagem atendida por medidas de controle (km^2);
- ✓ Superfície ocupada por medidas de controle a ser desapropriada (km^2);
- ✓ Volume de inundação antes da aplicação do cenário (m^3);
- ✓ Densidade populacional prevista (hab/km^2);
- ✓ Volume de inundação depois da aplicação do cenário (m^3);
- ✓ Vazão atual (V_a) (m^3/s);
- ✓ Vazão de restrição (V_R) (m^3/s);
- ✓ Vazão escoada após a implantação do cenário (V_d) (m^3/s).

A área da mancha urbana do município e as áreas sem ocupação (lotes vazios com solo nu ou vegetação rala), áreas ocupadas por espelhos d'água e piscinas, foram obtidas por digitalização, tomando como base as ortofotos e os dados de quadras e lotes em meio digital disponibilizados. As superfícies inundadas (manchas de inundação) para cada período de retorno e situação definida na formulação dos indicadores foram obtidas pela

conjugação dos dados de relevo (MNT) e dados dos níveis d'água obtidos pelo modelo HEC-RAS. Os volumes escoados foram obtidos diretamente dos resultados fornecidos pelo ARCGIS assim como os níveis de informação que eram obtidos pela intersecção entre dois ou mais níveis de informação primários.

A vazão de restrição aplicada ao estudo foi de 128 m³/s (2 anos de período de retorno) que corresponde à vazão geomorfológica definida para o município de Itajubá a partir da qual acredita-se não haver transferência de efeitos para jusante.

A área do município é 290km², a área ocupada pela zona urbana é de 24km² delimitada a partir de digitalização sobre as ortofotos. A densidade populacional considerada para aplicação dos indicadores foi obtida considerando uma população total estimada para 2008 pelo IBGE, de aproximadamente 90000 habitantes para o município de Itajubá e a população correspondente a 92% da população total do município distribuída pela zona urbana. Assim, a densidade populacional média adotada para Itajubá foi de 3450 hab/km².

A Tabela 7.4 a seguir apresenta a nomenclatura utilizada nas tabelas posteriores com relação à identificação dos cenários e períodos de retorno correspondentes. A Tabela 7.5 apresenta os valores dos dados para determinação dos indicadores de vulnerabilidade e a Tabela 7.6 apresenta o resultado dos indicadores já calculados. A Tabela 7.7 apresenta os indicadores de vulnerabilidade já normalizados de acordo com as recomendações do item 6.6

Tabela 7.4 – Identificação dos cenários

Identificação	Descrição	Nome
Cenário A	Situação de ocupação atual para período de retorno de 100 anos	A100
	Situação de ocupação atual para período de retorno de 50 anos	A50
	Situação de ocupação atual para período de retorno de 10 anos	A10
Cenário B	Implantação da barragem 3A para período de retorno de 100 anos	B100
	Implantação da barragem 3A para período de retorno de 50 anos	B50
	Implantação da barragem 3A para período de retorno de 10 anos	B10
Cenário D	Implantação de diques laterais para período de retorno de 100 anos	D100
	Implantação de diques laterais para período de retorno de 50 anos	D50
	Implantação de diques laterais para período de retorno de 10 anos	D10
Cenário S	Sistema de alerta para período de retorno de 100 anos	S100
	Sistema de alerta para período de retorno de 50 anos	S50
	Sistema de alerta para período de retorno de 10 anos	S10

Tabela 7.5 – Dados para determinação dos indicadores de vulnerabilidade

Dados	Cenário A (Ocupação atual)			Cenário B (Barragem 3A)			Cenário D (Dique)			Cenário S (Sistema de alerta)		
	Tempo de retorno (TR)			Tempo de r retorno (TR)			Tempo de retorno (TR)			Tempo de retorno (TR)		
	100 anos	50 anos	10 anos	100 anos	50 anos	10 anos	100 anos	50 anos	10 anos	100 anos	50 anos	10 anos
Dpop	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450
S ₂₄	5,85	3,91	2,63	0	0	0	4,32	4,04	2,82	5,85	3,91	2,63
S _T	1,91	1,87	1,43	0	0	0	1,83	1,80	1,48	1,91	1,87	1,43
MI	11,11	10,88	9,07	0	0	0	7,90	7,75	6,27	11,11	10,88	9,07
S _d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S _b	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
V _A	25989516	24012254	16842518	25989516	24012254	16842518	25989516	24012254	16842518	25989516	24012254	16842518
V _D	25989516	24012254	16842518	25989516	24012254	16842518	25989516	24012254	16842518	25989516	24012254	16842518
S _{MED}	0	0	0	0	0	0	0,08	0,08	0,08	0	0	0
Q _R	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128
Q _A	349,87	313,15	227,18	349,87	313,15	227,18	349,87	313,15	227,18	349,87	313,15	227,18
Q _D	349,87	313,15	227,18	36	36	36	381,4	337,78	249,76	349,87	313,15	227,18

Dpop	Densidade populacional (hab/km ²)
S ₂₄	Mancha de inundação para duração de 24h (km ²)
S _T	Associação da mancha de inundação para duração de 24h, declividade igual ou inferior a1% e vazios (km ²)
MI	Mancha de inundação para o período de retorno definido (km ²)
S _d	Área de drenagem atendida por medida (km ²)
S _b	Área da bacia (km ²)
V _A	Volume escoado antes da implantação (m ³)
V _D	Volume escoado depois da implantação (m ³)
S _{MED}	Área da medida de controle a desapropriar (km ²)
Q _R	Vazão de restrição a jusante (m ³ /s)
Q _A	Vazão a jusante antes da aplicação do cenário (m ³ /s)
Q _D	Vazão a jusante após a aplicação do cenário (m ³ /s)

Tabela 7.6- Resultado da aplicação dos indicadores de vulnerabilidade para os cenários definidos

C I	A100	A50	A10	B100	B50	B10	D100	D50	D10	S100	S50	S10
Critério "Impactos sobre a população"												
I _{PE}	21139	14144	9497	0	0	0	15629	14619	10188	21139	14144	9497
I _{PV}	1,91	1,87	1,43	0,00	0,00	0,00	1,83	1,80	1,48	1,91	1,87	1,43
I _{EL}	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0
I _{RP}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	275,97	275,97	275,97	0,00	0,00	0,00
Critério "Impactos sobre o meio"												
I _{MF}	0	0	0	0	0	0	-7	-7	-7	0	0	0
I _{QA}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I _{VE}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Critério "Impactos hidrológicos"												
I _{IJ}	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0	0	0	0,5	0,5	0,5
I _{EJ}	1	1	1	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	1	1

Tabela 7.7 – Indicadores de vulnerabilidade normalizados para os cenários

IND	A100	A50	A10	B100	B50	B10	D100	D50	D10	S100	S50	S10
I _{PE}	0,473	0,648	0,763	1,000	1,000	1,000	0,611	0,636	0,746	0,473	0,648	0,763
I _{PV}	0,828	0,831	0,872	1,000	1,000	1,000	0,835	0,838	0,867	0,828	0,831	0,872
I _{EL}	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,500
I _{RP}	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,993	0,993	0,993	1,000	1,000	1,000
I _{MF}	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,150	0,150	0,150	0,500	0,500	0,500
I _{QA}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
I _{VE}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
I _{IJ}	0,500	0,500	0,500	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,500
I _{EJ}	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,500	0,500	0,500	1,000	1,000	1,000

De modo a verificar o comportamento da metodologia de avaliação do desempenho proposta foi feita uma variação dos pesos dos indicadores adotando, no primeiro momento, a média dos pesos atribuídos aos indicadores pelos especialistas. Num segundo momento os pesos dos indicadores foram variados dando ênfase a 3 (três) aspectos: o ponto de vista ambiental; o ponto de vista social; e o ponto de vista técnico. Conforme a ênfase houve uma carga maior dos pesos aos indicadores ligados a cada aspecto. Os pesos adotados nessa análise podem ser verificados na Tabela 7.8.

Após a definição dos pesos a serem aplicados aos indicadores nos diferentes aspectos

procedeu-se o cálculo da agregação dos indicadores pelo método TOPSIS, já apresentado no item 6.5, e a obtenção dos índices de desempenho. O resultado pode ser visto na Tabela 7.9.

Tabela 7.8 – Pesos aplicados conforme a abordagem adotada

Indicador / Aspecto	Média	Ambientalista	Social	Técnico
População afetada e exposta ao desenvolvimento de enfermidades	13,69	3,87	23,76	3,87
Proliferação de vetores alados	8,26	5,40	11,37	5,40
Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos	10,13	2,47	18,05	2,47
Realocação da população	8,50	2,59	14,66	2,59
Alteração na Morfologia Fluvial	8,33	21,17	3,46	3,46
Alteração potencial na qualidade da água	7,24	20,12	2,33	2,33
Alteração potencial sobre o volume escoado e recarga de aquífero	12,40	25,39	7,38	7,38
Inundação a jusante das intervenções	23,89	16,74	16,74	45,32
Erosão a jusante das intervenções	7,57	2,24	2,24	27,18

Tabela 7.9 – Análise do desempenho dos cenários nas diferentes abordagens

Cenário	Desempenho dos cenários			
	Média	Ambientalista	Social	Técnico
A100	0,49	0,30	0,55	0,59
A50	0,51	0,30	0,62	0,59
A10	0,52	0,31	0,65	0,59
B100	0,64	0,39	0,75	0,61
B50	0,64	0,39	0,75	0,61
B10	0,64	0,39	0,75	0,61
D100	0,29	0,14	0,43	0,23
D50	0,29	0,14	0,44	0,23
D10	0,31	0,15	0,47	0,24
S100	0,49	0,30	0,55	0,59
S50	0,51	0,30	0,62	0,59
S10	0,52	0,31	0,65	0,59

7.5 – CÁLCULO DOS INDICADORES DE CUSTO

Conforme descrito no Capítulo 6, a obtenção do indicador de custos relaciona os custos de implantação, manutenção e operação dos cenários, os custos dos danos à infraestrutura urbana e os danos aos setores do comércio e serviço e residencial. Para cada cenário e período de retorno foi então determinado um valor para o indicador conforme descrito a seguir.

7.5.1 – Danos à habitação, comércio e serviços

Os valores adotados para os indicadores de custo relatados no presente capítulo foram todos corrigidos para dezembro de 2008. A atualização dos valores relativos aos custos de materiais construtivos foram feitos tomando como base o INCC – Índice Nacional de Custos da Construção. Para os valores dos danos aos setores do comércio, serviço e habitação, o índice de correção adotado foi o INPC – Índice Nacional de Preços ao Consumidor.

Conforme já relatado anteriormente, os danos aos setores de habitação, comércio e serviços foram obtidos pela metodologia desenvolvida por Machado (2005). Algumas simplificações foram adotadas em relação à metodologia original. O cálculo dos danos em todas as categorias foi realizado tomando faixas de profundidade em intervalos que variaram a cada 50cm conforme exemplos apresentados nas Figuras 7.22 e 7.23.

Tanto para os setores de habitação quanto de serviço foram tomados, para avaliação dos danos, apenas as edificações que estavam no primeiro pavimento. Foi considerada uma distribuição uniforme das edificações dentro da área urbana de Itajubá, e para os setores de comércio e serviços, os estabelecimentos foram distribuídos uniformemente dentro da área delimitada para os setores mostrada na Figura 7.7.

Para o caso das habitações, do total de domicílios situados no primeiro pavimento foi estabelecida a porcentagem relativa de domicílios em cada classe social e a área de ocupação média das mesmas conforme o estabelecido por Machado (2005). Assim para o setor habitacional, as características adotadas foram as mostradas na Tabela 7.10.

Tabela 7.10 – Distribuição de domicílios por classe social

Total de domicílios		19043
Percentual de domicílios por classe social		Área construída média (m ²)
Classe D e E	38,28	54
Classe C	31,66	80
Classe B	26,16	130
Classe A	3,90	250
Quantidade de domicílios por km ²		793

Semelhante ao executado para o setor habitacional, para os setores de comércio e serviços foi verificada a quantidade de empresas conforme a atividade, e o percentual referente a cada uma das atividades conforme apresentado na Tabela 7.11 e 7.12.

Tabela 7.11 - Distribuição das empresas de Itajubá conforme a atividade

Empresas/Atividade	Área	Número	%
Materiais de construção	523,90	160	10,44
Produtos farmacêuticos	97,00	113	7,38
Livraria e papelarias	140,70	58	3,79
Supermercados, hipermercados	970,60	144	9,40
Mercearias e armazéns	142,00	199	12,99
Padarias e confeitarias	229,40	70	4,57
Açougues e peixarias	60,50	98	6,40
Comércio de frutas e verduras	104,30	37	2,42
Lojas de departamento	748,00	19	1,24
Armarinhos, vestuários e tecidos, sapatarias e produtos de couro	159,90	335	21,87
Móveis e eletrodomésticos, equipamentos de informática	193,60	135	8,81
Joalherias e relojarias, óticas	93,20	42	2,74
Veículos e motos, peças e acessórios	340,20	122	7,96
Total		1532	100,00

Tabela 7.12 – Distribuição do setor de serviços por ramo de atividade

Atividade	Número	%
Hotéis e hospedarias	23	3,05
Restaurantes, lanchonetes e bares	313	41,51
Serviços pessoais: salões de beleza, barbearias e lavanderias	85	11,27
Escritórios: arquitetos, advogados, contadores, imobiliárias, etc	158	20,95
Bancos	12	1,59
Consultórios médicos	89	11,80
Consultórios odontológicos	32	4,24
Escolas	42	5,57
Total	754	100,00

Para a estimativa dos danos com a implantação do sistema de alerta foi utilizada a metodologia obtida por Lima (2003). Segundo a autora com uma antecipação de doze horas do alerta é possível a redução de até 1/3 do valor dos danos em Itajubá. Assim, para o cálculo do valor dos danos residuais no cenário previsto para a inserção do sistema de alerta foi utilizada uma redução de 30% sobre o valor dos danos estimados para o cenário atual para cada período de retorno adotado na análise sobre os danos referentes aos setores de habitação, comércio e serviços.

Detalhes das curvas profundidade x dano aplicadas encontram-se no Anexo D deste documento. Os resultados da aplicação da metodologia para os setores habitacional e de comércio e serviço com seus valores corrigidos para dezembro de 2008 encontram-se na Tabela 7.13.

Tabela 7.13 – Custo dos danos aos setores habitação, comércio e serviços

Cenário	Custo total dos danos às residências (R\$)	Custo total dos danos aos setores de comércio e serviços (R\$)
A100	105.017.629,23	118.283.887,69
A50	92.202.814,89	105.149.010,66
A10	73.281.970,71	66.102.803,74
B100	0,00	0,00
B50	0,00	0,00
B10	0,00	0,00
D100	65.869.730,22	36.188.217,03
D50	63.414.140,41	33.212.793,71
D10	51.918.429,36	20.050.304,22
S100	73.512.340,46	82.798.721,38
S50	64.541.970,42	73.604.307,46
S10	51.297.379,50	46.271.962,62

7.5.1 – Danos à infraestrutura

Para determinar os danos à infraestrutura urbana de Itajubá foi aplicada a sistemática proposta no Capítulo 5 do presente documento. Os danos esperados para cada cenário foram determinados em função das condições existentes e encontram-se listados nos tópicos a seguir.

7.5.1.1 – Danos ao sistema viário

Para a determinação dos danos ao sistema viário foram efetuadas algumas considerações para o caso de Itajubá. As vias do município são revestidas por diferentes materiais (asfalto, bloquete, etc.) numa mesma região. Para a aplicação da metodologia e por desconhecimento de detalhes construtivos em todo o trecho atingido pelas inundações foi considerado para este caso a aplicação de asfalto no revestimento das vias em toda a extensão da mancha de inundação. A composição dos custos aplicados a este setor encontra-se na Tabela 7.14. Os custos dos itens listados na Tabela 7.14 foram obtidos da planilha de cálculo da SUDECAP para dezembro de 2008.

Como não se encontrava disponível o comprimento total das vias para o município de Itajubá foi considerado que a extensão das vias seria equivalente à extensão das redes de esgoto e drenagem para o município fornecida pela COPASA. Na realidade os valores de danos encontrados podem ficar um pouco abaixo do existente uma vez que é grande a possibilidade de a extensão de vias atingidas ser maior do que a prevista. A densidade de vias aplicadas ao caso de Itajubá foi então de 12,5km/km² e a largura das vias utilizada 12, (doze) metros.

Tabela 7.14 – Composição de custo para a substituição de pavimento asfáltico

Pavimentos de CBUQ (por m²)				
Tipo de serviço	Unidade	Custo unitário	Quantidade	Custo total (R\$/m ²)
Demolição	m ³	5,98	0,10	0,60
Carga do material demolido	m ³	7,92	0,10	0,79
Transporte de material demolido	m ³ x km	6,90	1,00	6,90
Camada de base com compactação	m ³	41,88	0,10	4,19
Imprimação	m ²	3,04	1,00	3,04
CBUQ	T	187,36	0,20	37,47
Total				52,99

Após a aplicação da sistemática de avaliação de danos os resultados dos danos para cada cenário encontram-se apresentados na Tabela 7.15.

Tabela 7.15 – Custo dos danos ao sistema viário para os diferentes cenários

Cenário	Área da superfície inundada em (km ²)	Custo total dos danos ao sistema (R\$)
A100	11,10	8.822.835,00
A50	10,88	8.647.968,00
A10	9,07	7.209.289,50
B100	0,00	0,00
B50	0,00	0,00
B10	0,00	0,00
D100	7,90	6.279.315,00
D50	7,75	6.160.087,00
D10	6,27	4.983.709,50
S100	11,10	8.822.835,00
S50	10,88	8.647.968,00
S10	9,07	7.209.289,50

7.5.1.2 – Danos ao sistema de esgotamento sanitário

Mesmo sendo de conhecimento que a parte mais antiga do sistema de esgotamento sanitário do município de Itajubá é do tipo unitário, optou-se por efetuar a avaliação de danos ao sistema de esgotamento sanitário separadamente do de drenagem urbana. A adoção desse critério é decorrente do fato de que há uma tendência de substituição da rede unitária por um sistema separador absoluto, o que já ocorreu em parte do município.

Além da tendência de separação entre os sistemas, outro fator preponderante na escolha de aplicação dos sistemas de maneira separada foi o fato que na elaboração da sistemática de avaliação, os danos de um sistema não excluem a possibilidade de ocorrência do outro, ou seja, não há sobreposição na avaliação de danos aos dois setores.

Para o cálculo dos danos a este setor foi considerado que a rede é de concreto com um diâmetro médio de 500mm. O custo de correção dos danos na rede de esgoto incluem a abertura de vala com a retirada da tubulação danificada e a substituição do trecho da rede danificado com a recomposição do pavimento. O custo referente às obras civis e substituição da rede adotados nessa avaliação foram obtidos por Teles e Ferreira (2009) e foi adotado para o cálculo dos danos equivalendo a um custo médio por metro de rede R\$753,13.

Para o cálculo dos custos de limpeza a densidade de rede adotada foi igual a 12,5km/km²,

já que os dados para a obtenção desta estimativa no item anterior foram baseados na extensão total da rede de esgoto e drenagem. Da extensão total da rede de esgoto a ser limpa dentro da mancha de inundação foi subtraída a extensão do interceptor a ser reparado. O resultado do cálculo custos de substituição da rede consta da tabela 7.16 e os custos dos danos para este setor consta da Tabela 7.17.

Tabela 7.16 – Custo de substituição de rede de esgoto em concreto

Descrição	Unidade	Custo (R\$)
Abertura e fechamento de vala	m	550,00
Tubo de concreto DN 500	m	203,13
Tubo de concreto DN 600	m	253,44

Tabela 7.17 – Custo dos danos ao sistema de esgotamento sanitário para os diferentes cenários

Cenário	Custo total dos danos ao sistema (R\$)
A100	1.016.612,04
A50	989.146,25
A10	960.865,00
B100	0,00
B50	0,00
B10	0,00
D100	697.932,07
D50	695.588,32
D10	669.550,80
S100	1.016.612,04
S50	989.146,25
S10	960.865,00

7.5.1.3 – Danos ao sistema de abastecimento de água

Para aplicação da sistemática proposta foram avaliadas as condições de proteção do sistema de abastecimento de água. Este sistema apresenta dispositivos de segurança nas travessias (registros em ambos os lados) não permitindo a perda de água armazenada se houver o rompimento de alguma das travessias. No que diz respeito à captação, a balsa e um dos conjuntos motor-bomba têm possibilidade de serem perdidos durante a inundação.

Uma das adutoras tem extensão de 8,0km divididos em três trechos: dois trechos de aproximadamente 1/3 do comprimento total cada um em ferro fundido e um trecho intermediário em aço. Os diâmetros variam de 300mm a 250mm e parte desta encontra-se

em área alagável. A adutora é composta por duas linhas de 250mm parte em ferro fundido e parte em aço. O último trecho que chega à estação de tratamento de água é composto por uma única linha com diâmetro igual a 300mm em ferro fundido. O custo de substituição da adutora por estimado tomou como base os dados de Teles e Ferreira (2009) conforme pode ser visto na Tabela 7.18.

Tabela 7.18 – Custo de substituição dos elementos do sistema de abastecimento de água

Descrição	Unidade	Custo (R\$)
Conjunto Motor-bomba10cv	un	12.200,00
Adutora de ferro fundido 350mm	m	449,00
Adutora de aço 350mm	m	432,00
Adutora de ferro fundido 250mm	m	390,00
Adutora de aço 250mm	m	375,00
Travessia ferro fundido 150mm vão de 12 metros	m	937,90
Travessia ferro fundido 100mm vão de 12 metros	m	857,93

Para a quantificação das travessias em risco foi analisado a quantidade de pontes passíveis de possuírem travessias que estavam locadas dentro da mancha de inundação para cada período de retorno. O custo de substituição de travessias fornecido por Teles (2009) foi composto considerando os custos de mão-de-obra, materiais e equipamentos para montagem. Os custos variaram de acordo com o vão da travessia e com o material constituinte e o diâmetro das travessias podendo ser visto na Tabela 7.18.

Como as travessias de Itajubá contam com sistema de registros laterais para corte da passagem da água durante a inundação, não se considerou perda da água armazenada. Para determinar a quantidade de travessias de pequenos rios tomou-se como base o mapeamento da área inundada e da rede hidrográfica. Pela extensão e pela quantidade de pequenos cursos de água dentro da mancha de inundação estimou-se a quantidade de travessias em risco.

O resultado da análise a partir dessas considerações encontra-se na Tabela 7.19.

Tabela 7.19 – Custo dos danos ao sistema de abastecimento de água

Cenário	Custo total dos danos ao sistema (R\$)
A100	1.850.958,60
A50	1.850.958,60
A10	1.636.458,60
B100	0,00
B50	0,00
B10	0,00
D100	1.308.079,30
D50	1.276.879,30
D10	453.979,30
S100	1.850.958,60
S50	1.850.958,60
S10	1.636.458,60

7.5.1.4 – Danos ao sistema de drenagem de águas pluviais

Para estimativa dos danos ao sistema de drenagem de águas pluviais de Itajubá foi considerado que as redes de drenagem são executadas com tubos de concreto. Essa consideração partiu da previsão de substituição já iniciada das redes unitárias de material cerâmico para uma rede separadora com tubos de concreto. Com essa consideração não são previstos danos à rede propriamente dita.

O cálculo dos danos estimados para esse sistema parte da estimativa do comprimento da rede dentro da mancha de inundação e da estimativa do número de elementos (bocas-de-lobo e poços de visita) inseridos no perímetro inundado. A estimativa do comprimento da rede que fica submersa em caso de inundação foi feito tomando como base a densidade de rede igual a $12,5\text{km}/\text{km}^2$ e a partir daí estimou-se o número de elementos da rede que têm potencial para serem danificados.

Os custos de correção desses elementos tiveram como base a descrição das bocas-de-lobo e poços de visita no padrão SUDECAP tendo sido referência o caderno de encargos desse órgão (SUDECAP, 2000). Assim, considerou-se todas as bocas-de-lobo simples em concreto armado e os trabalhos de correção previstos foram a substituição e recomposição dos materiais. Para esse serviço foi prevista escavação adicional com remoção do material, execução de alvenaria de 20 cm e revestimento desta com argamassa, execução de pequenos reaterros, demais serviços e materiais atinentes referentes à correção do

pavimento e substituição do quadro e cantoneira de concreto.

Para a correção dos poços-de-visita foi considerado escavação adicional com remoção do material, a substituição do quadro de concreto, substituição de 20cm de alvenaria do fuste e recomposição do pavimento. Foi, ainda, considerado que as tampas de poços de visita a serem substituídas serão em ferro fundido cinzento.

A limpeza da rede considerou todo o comprimento desta na mancha de inundação com rendimento médio de 80m por hora do equipamento de limpeza ao custo de R\$100,00 por hora, fornecido por Mota (2008) e confirmados por Teles e Ferreira (2009). Os custos individuais dos elementos citados neste item encontram-se listados na Tabela 7.20 e os custos dos danos ao sistema estão mostrados na Tabela 7.21.

Tabela 7.20 – Custos de reparo e substituição dos elementos da rede de drenagem

Elemento a corrigir/substituir	Custo unitário de correção/substituição (R\$)
Boca-de-lobo	413,28
Poço de visita	106,70
Tampa de poço de visita	466,30

Tabela 7.21 – Custo dos danos ao sistema de drenagem de águas pluviais

Cenário	Custo total dos danos ao sistema (R\$)
A100	417.612,53
A50	409.335,52
A10	341.238,34
B100	0,00
B50	0,00
B10	0,00
D100	297.219,73
D50	291.576,31
D10	235.894,64
S100	417.612,53
S50	409.335,52
S10	341.238,34

7.5.1.5 – Danos ao sistema de distribuição de energia elétrica

A estimativa dos danos ao setor de distribuição de energia elétrica partiu dos seguintes pressupostos para a distribuição, dentro da mancha de inundação, do quantitativo referente

aos medidores:

- os medidores do tipo monofásico foram considerados instalados nas residências das classes D e E;
- os medidores do tipo bifásico foram considerados instalados nas residências das classes A, B e C;
- os medidores do tipo trifásico foram considerados instalados em todos os estabelecimentos comerciais e de serviço.

Os custos relativos aos medidores considerados foram aqueles relatados por França e Silva (2008) cujos valores foram atualizados para dezembro de 2008. Assim, na Tabela 7.22 encontram-se os valores considerados para o custo individual dos medidores.

Tabela 7.22 – Custo de substituição de medidores

Tipo de medidor	Custo unitário de substituição (R\$)
Medidor monofásico	24,57
Medidor bifásico	65,89
Medidor trifásico	189,84

Tabela 7.23 – Custo dos danos ao sistema de distribuição de energia elétrica

Cenário	Custo total dos danos ao sistema (R\$)
A100	485.451,06
A50	396.085,74
A10	250.588,73
B100	0,00
B50	0,00
B10	0,00
D100	247.944,33
D50	235.041,41
D10	202.058,23
S100	485.451,06
S50	396.085,74
S10	250.588,73

7.5.1.6 – Custos relativos ao restabelecimento das condições normais de tráfego e limpeza de áreas públicas

A estimativa da quantidade de sedimentos gerados para cada cenário para o município de Itajubá foi obtida tomando como referência o número de edificações situadas no primeiro pavimento (térreo) das edificações. Para a estimativa do número de domicílios atingidos

foi utilizada a relação de domicílios no primeiro pavimento obtida para o cálculo dos danos às habitações (793 domicílios por km²). Assim o quantitativo do volume de resíduos a ser removido gerado pelas edificações e associado ao volume de sedimentos encontrados nas ruas teve seu custo estimado em função do custo para escavar e carregar esse material, e o custo do transporte do mesmo. Para a estimativa do custo de transporte foi adotada uma distância de 20km para o descarte.

Os custos aplicados para os trabalhos de remoção de resíduos sólidos e limpeza encontram-se descritos na Tabela 7.24 e foram estimados tomando por base a planilha de custos da SUDECAP. A Tabela 7.25 apresenta os valores encontrados para as estimativas dos custos de limpeza do município para cada cenário.

Tabela 7.24 – Custo da retirada do volume de detritos por m³

Serviço	Unidade	Custo (R\$)
Escavação e carga mecanizada	m ³	4.02
Transporte (20km)	m ³	13.80
Custo total da limpeza	m ³	17,82

Tabela 7.25 – Custos relativos à remoção de resíduos e limpeza pública

Cenário	Custo total dos danos ao sistema (R\$)
A100	3.902.237,86
A50	3.824.896,20
A10	2.814.689,09
B100	0,00
B50	0,00
B10	0,00
D100	2.777.268,38
D50	2.724.535,44
D10	1.939.837,24
S100	3.902.237,86
S50	3.824.896,20
S10	2.814.689,09

7.5.2 – Custos de implantação e manutenção

Definidas as condições de aplicação para determinação dos danos aos diferentes setores de infraestrutura urbana, o texto a seguir apresenta a discretização dos demais componentes

dos indicadores de custo propostos para cada cenário.

7.5.2.1 – Cenário A

Para o cenário A os custos determinados foram referentes aos custos dos danos aos diferentes setores de infraestrutura urbana e aos setores habitacional, de comércio e serviços, seguindo as considerações feitas anteriormente, uma vez que para esse cenário não há previsão de implantação de nenhuma intervenção para o controle de inundações.

7.5.2.2 – Cenário B

O cenário B é composto pelo barramento do rio Sapucaí 3A do complexo de barragens de contenção para a região. O indicador de custos para o caso do cenário B será composto pelos custos de implantação da barragem 3A e pelos custos de manutenção desta. Como a vazão a ser liberada será de 36 m³/s, não está prevista a ocorrência de danos uma vez que não haverá extravasamento do escoamento além da calha do rio Sapucaí no trecho da área urbana de Itajubá.

Custos de implantação

No Relatório nº 4 (COPASA, 2001), o custo total da obra de implantação da barragem 3A definido pelo orçamento efetuado é de R\$ 30.360.107,00, obtido considerando obras civis e equipamentos compreendendo custos para fornecimento, instalação e montagem. Esse valor foi obtido para o orçamento efetuado em julho de 2001 e foi reajustado para a dezembro de 2008 com valor correspondente a R\$ 60.090.545,38.

Custos de operação e manutenção

Para manutenção da barragem foram previstos a limpeza da área de inundação correspondente a 192ha com capina uma vez ao ano e o transporte de material para despejo em área distante até 2km. Foi prevista a visita semanal de um técnico da COPASA considerando os custos referentes a um dia de trabalho do técnico, do motorista e o consumo de combustível para efetuar o trajeto.

Alem da inspeção semanal foi considerado ainda, uma inspeção por dois engenheiros para avaliação das condições do maciço de concreto e das instalações 4 (quatro) vezes ao ano. A inspeção terá duração de um dia e os custos considerados compreendem o dia de trabalho dos engenheiros, do motorista do veículo de transporte e de combustível.

Os valores correspondentes ao custo de manutenção da barragem foram obtidos tomando como base a planilha de custos da SUDECAP para dezembro de 2008 e os salários previstos para o técnico, engenheiros e motoristas. Dessa maneira os custos de manutenção da barragem 3A considerados no presente estudo encontram-se listados na Tabela 7.26. O valor presente líquido dos custos de manutenção considerando uma vida útil para o empreendimento de 30 anos equivale a R\$79.473,64, devendo ser adicionado aos custos de implantação da barragem.

Tabela 7.26 – Custos de manutenção da barragem 3A

Manutenção da barragem	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Capina e transporte de material 1 vez ao ano	m ²	1920000	0,34	652,80
Transporte do material (1 km < DMT <= 2 km) (5m ³ /ha)	m ³	960	2,64	2.534,40
Visita semanal técnico - duração 1 dia	dia	52	95,00	4.940,00
Inspeção 4 vezes ao ano	dia	4	445,00	1.780,00
Custo de manutenção da barragem (R\$) por ano				9.907,20

7.5.2.3 – Cenário D

O cálculo do indicador de custos do cenário 3 envolve os custos de construção e operações necessárias à implantação dos diques laterais em terra propostos no item 7.2.3. As dimensões e detalhes construtivos encontram-se apresentados na Figura 7.10. Além dos custos de implantação, os custos dos danos residuais e os custos de operação compõem o indicador de custos para este caso.

Custos de implantação

Para a composição dos custos de implantação do dique tomou-se como base o detalhamento mostrado na Figura 7.10. Os custos relativos aos serviços a serem executados foram obtidos tomando como base a planilha de custos da SUDECAP para dezembro de 2008. Os custos de implantação do dique adotados encontram-se listados na Tabela 7.27 prevendo a execução de atividades de preparação das margens do rio Sapucaí para as alterações previstas após a inserção dos diques.

Tabela 7.27 – Custo de preparação das margens do rio Sapucaí

Tipo de serviço	Unidade	Custo unitário (R\$)	Quantidade (m)	Custo / m (R\$)
Limpeza de margens	m ²	0,65	7,0	4,55
Concreto de regularização 20cm	m ³	229,85	1,4	321,79
Revestimento de concreto 30cm	m ³	268,41	2,1	563,66
Custo total por metro de revestimento				890,00

Para implantação do conjunto dos diques e dos canais laterais estão previstas as atividades listadas nas Tabelas 7.28e 7.29, sendo que para o canal lateral foi seguido o procedimento utilizado por Moura (2004) e os respectivos custos atualizados para dezembro de 2008.

Tabela 7.28 – Custo de implementação dos diques laterais em terra

Tipo de serviço	Unidade	Custo unitário (R\$)	Quantidade (m)	Custo / m (R\$)
Escavação	m ³	4,02	13,2	53,06
Base de pedra	m ³	76,21	13,2	1.005,97
Dreno de areia	m ³	42,46	6,6	280,24
Transporte de material	m ³ .km	0,69	1422,8	981,73
Carga de material	m ³	1,13	71,14	80,39
Compactação	m ³	9,27	71,14	659,47
Concreto de regularização	m ³	229,85	6,57	1.510,11
Revestimento de concreto	m ³	268,41	3,285	881,73
Gramma batatais em placas	m ²	5,30	12,65	67,05
Custo por metro linear de dique				7.299,75

Tabela 7.29 - Custo de implantação de canal em concreto (Moura, 2004)

Tipo de serviço	Unidade	Custo unitário (R\$)	Quantidade (m)	Custo total (R\$)
Escavação	m ³	3,49	43,52	151,88
Enrocamento	m ³	76,21	4,08	310,94
Concreto de regularização	m ³	229,85	1,36	312,60
Concreto 25 MPa	m ³	268,41	4,08	1.095,11
Dreno	m	75,82	2,00	151,64
Escoramento	m ²	88,74	8,00	709,92
Forma	m ²	26,74	8,00	213,92
Gramma	m ²	5,30	5,41	28,67
Armação	kg	6,21	291,43	1.809,77
Total por metro linear de canal				4.784,45

Compõem os custos de implantação dos diques a remoção das pontes instaladas no trecho

onde o dique será colocado e a remoção definitiva da população que habita as áreas laterais inseridas na faixa de domínio do dique.

Para a substituição das pontes o valor estimado por Oliveira (2009) incluindo a retirada das pontes antigas e a inserção de novas pontes de concreto, é em média R\$2.000,00 por m² de ponte. Para a estimativa do custo de substituição das pontes foi adotada uma largura de 12 metros para cada uma delas e o comprimento das mesmas foi obtido pela largura do rio Sapucaí na seção onde as mesmas estão inseridas. O posicionamento das pontes não será alterado e os respectivos custos de substituição encontram-se descritos na Tabela 7.30.

Tabela 7.30 – Custo de substituição das pontes sobre o rio Sapucaí no trecho do dique em Itajubá.

Substituição das pontes do rio Sapucaí	quantidade (m)
Ponte seção 16.1	50,00
Ponte seção 11.5	53,00
Ponte seção 9.5	75,00
Ponte seção 8.5	82,00
Ponte seção 7.5	90,00
Comprimento total de pontes (m)	350,00
Custo de ponte de concreto por m ² (R\$)	2.000,00
Largura estimada (m)	12,00
Custo total de substituição das pontes no trecho do dique (R\$)	8.400.000,00

Já para a indenização dos lotes a serem desapropriados foi feita uma pesquisa junto a 3 (três) imobiliárias de Itajubá e o valor médio informado do custo por metro quadrado de lotes com construção em padrão médio de acabamento é de R\$400,00. De acordo com a área a ser desapropriada identificada no item 7.2.3, o custo total de indenização é de R\$31.997.048,00.

Custos de operação e manutenção

Os custos de manutenção se referem à limpeza do canal lateral e a recuperação da superfície gramada e do concreto e armadura do revestimento dos diques e canais. Os custos de recuperação da superfície gramada e do concreto foram definidos baseados no recomendado por Moura (2004). Os valores constantes para a execução de cada atividade foram obtidos da planilha de custos da SUDECAP e constam da Tabela 7.31.

O cálculo do valor presente líquido dos custos de manutenção do dique e canal lateral

foram obtidos considerando uma vida útil de 30 anos. Esse valor corresponde a R\$5.673.567,94

Tabela 7.31 – Custos de manutenção do dique e canal lateral

Serviço	Unidade	Custo unitário (R\$)	Quantidade	Custo por metro (R\$)
Canal				
Limpeza 2 vezes ao ano				70,03
Recuperação do concreto e armaduras (0,1% ao ano)	m ²	21,10	0,013	0,27
Faixa gramada Recuperação de 1% ao ano	m ²	5,30	0,13	0,69
Dique				
Recuperação do concreto e armaduras (0,1% ao ano)	m ²	21,10	0,024	0,51
Gramma (substituição de 1% ao ano)	m ²	5,30	0,24	1,27
Custo por metro linear				72,77

7.5.2.4 - Cenário S

O sistema de alerta previsto para atender o município de Itajubá já foi descrito no item 7.2.4 anterior. Para a determinação do indicador de custo desta medida estão previstos os custos de instalação da parte física do sistema, os custos de manutenção e operação do mesmo além dos custos dos danos residuais em função da antecedência do alerta.

Custo de instalação

A estimativa o número de equipamentos e seus respectivos custos foi feita a partir das informações disponibilizadas por Nascimento *et al.* (2008) assim como o orçamento da instalação da rede de monitoramento mostrada na Tabela 7.32. O levantamento de custos apresentado na Tabela 7.32, é composto da aquisição de equipamentos para medição de chuva e vazão, alimentação de energia, aquisição de materiais e equipamentos para recepção, tratamento e transmissão dos dados com uma antecipação prevista para o alerta de 12 horas.

Tabela 7.32 – Estimativa de custos de instalação da rede de monitoramento hidrológico para o rio Sapucaí no município de Itajubá

Tipo	Custo Unitário (R\$)		Número de estações	Sub-total (R\$)
	Equipamento	Instalação		
Pluviométrica	7.000,00	2.000,00	5	45.000,00
Fluviométrica	10.000,00	10.000,00	7	140.000,00
Computadores, móveis e materiais de escritório		20.000,00		20.000,00
Custo total da rede telemétrica				205.000,00

Custos de manutenção e operação

Para a determinação dos custos de manutenção e operação do sistema de alerta foi definido um salário mensal para o operador e um custo mensal para as atividades diárias de manutenção de um escritório e operação dos equipamentos de recepção e transmissão de dados. Além destes, os custos mensais têm como objetivo, também, a previsão da manutenção dos equipamentos de campo diluídos ao longo dos meses. Os valores adotados para este item são os mostrados na Tabela 7.33.

Tabela 7.33 – Custo de operação e manutenção do sistema de alerta

Atividade	Unidade	Custo mensal (R\$)
Operador	R\$	1.500,00
Manutenção (escritório, equipamentos)	R\$	1.250,00
Total manutenção por mês (R\$)		2.750,00
Total manutenção por ano (R\$)		33.000,00

O valor presente líquido dos custos de manutenção e operação do sistema de alerta para o período de 30 anos é R\$ 264.719,60.

7.6 – CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Neste capítulo foi aplicada a sistemática proposta incluindo a sistemática de avaliação de danos à infraestrutura e a sistemática de análise desempenho-custo.

A aplicação da sistemática de avaliação de danos permitiu a obtenção dos custos dos danos em valores monetários em cada período de retorno para cada alternativa de controle de inundações para o município de Itajubá.

No que diz respeito à análise de desempenho, a variação dos pesos conforme a abordagem adotada possibilitou a avaliação da robustez da metodologia proposta.

Os resultados e as conclusões obtidas por essa análise encontram-se descritos nos Capítulos 8 e 9 do presente documento assim como a análise dos resultados obtidos na avaliação dos danos à infraestrutura urbana em relação aos demais custos considerados.

8.0 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a aplicação da sistemática proposta nos Capítulos 5 e 6 do presente estudo à área urbana do município de Itajubá, nesse tópico serão apresentados os resultados obtidos com os comentários a respeito dos mesmos e a sua análise.

8.1 – MODELAGEM APLICADA

Os resultados obtidos na modelagem hidráulica e de uso do solo para os cenários analisados para o município de Itajubá mostraram que há uma variação muito pequena entre as superfícies inundadas para os períodos de retorno aplicados ao estudo. Os resultados encontrados mostram o potencial para geração de inundações na região urbana de Itajubá.

A Tabela 8.1 mostra que para a vazão de período de retorno de 100 anos igual a $394 \text{ m}^3/\text{s}$, a mancha de inundação prevista para o município de Itajubá equivale a 46,25% da área urbana delimitada para o município. Para um período de retorno de 50 anos há uma redução na vazão de 9,39% e a mancha de inundação prevista é de 45,33% da área urbana. Assim, quase não há diferença entre a mancha de inundação para esses dois períodos de retorno já que a redução da mancha é de somente 1,98%. A diferença existente para os dois maiores períodos de retorno analisados ocorrerá praticamente apenas nas alturas de submersão. Já para o período de retorno de 10 anos há uma redução na vazão de 31,98% passando de $394 \text{ m}^3/\text{s}$ para $268 \text{ m}^3/\text{s}$ e a mancha de inundação para este caso equivale a 37,79% da área urbana delimitada, com uma redução em relação à mancha de inundação para o maior período de retorno de 18,29%.

Tabela 8.1 – Áreas das superfícies ocupadas pelas manchas de inundação para os cenários

Identificação	Superfície ocupada (km^2)	Taxa da área inundada (%)
Área urbana de Itajubá	24,00	---
Área inundada para A100	11,10	46,25
Área inundada para A50	10,88	45,33
Área inundada para A10	9,07	37,79
Área inundada para D100	7,90	32,92
Área inundada para D50	7,75	32,29
Área inundada para D10	6,27	26,13

Para os cenários com a implantação dos diques as áreas ocupadas pelas manchas de

inundação para cada período de retorno variaram de 26,13 a 32,92% com os mesmos intervalos de variação de vazão citados nos dois parágrafos anteriores.

Não estão apresentados os resultados de variação das manchas de inundação para o cenário B uma vez que com a solução adotada neste cenário não há previsão de inundação e para o cenário S, as manchas de inundação são equivalentes às encontradas para o cenário A.

8.2 – INDICADORES DE VULNERABILIDADE

A análise do desempenho de cada cenário aplicado ao estudo de caso foi feita utilizando o índice de desempenho determinado pelo método TOPSIS proposto no item 6.5 para os indicadores de vulnerabilidade. De acordo com os resultados obtidos e apresentados na Tabela 7.10, houve pouca ou nenhuma variação nesse índice em um mesmo cenário para os diferentes períodos de retorno considerados na análise. As maiores diferenças observadas ocorreram para os cenários A e S (atual e sistema de alerta) para a abordagem social. Para o cenário B (barragem) não houve variação no índice de desempenho para os diferentes períodos de retorno considerados em nenhuma das abordagens analisadas.

A Figura 8.1 apresenta os resultados das alterações nos índices de desempenho para cada cenário tomando como base os pesos obtidos pela média. Conforme apresentado na Figura 8.1 quando foi dada ênfase dos pesos na abordagem ambiental, em todos os cenários analisados houve redução nos índices de desempenho com variações entre 39 a 52%. As menores variações neste índice foram obtidas para o cenário B (barragem) com uma redução de 39% para os três períodos de retorno analisados. As maiores variações observadas foram obtidas para o cenário D (diques) cujas reduções no índice de desempenho foram de 52% para os três períodos de retorno.

Para os pesos da abordagem social houve uma melhoria no desempenho de todos os cenários com variações de 12 a 52% superiores ao desempenho quando aplicada a média dos pesos. As menores variações observadas ocorreram para o cenário B com um desempenho 17% superior ao da média, e as maiores variações observadas ocorreram para o cenário D, para o qual houve uma melhoria no desempenho em relação à média de 48 e 52%.

Para a abordagem técnica foi observada uma queda no desempenho de 5% para o cenário

B e de 21 e 23% para o cenário D, enquanto que para os cenários A e S houve uma melhoria no desempenho de 13 a 20% sobre o desempenho obtido na aplicação da média dos pesos. Esses resultados podem ser vistos na Figura 8.1.

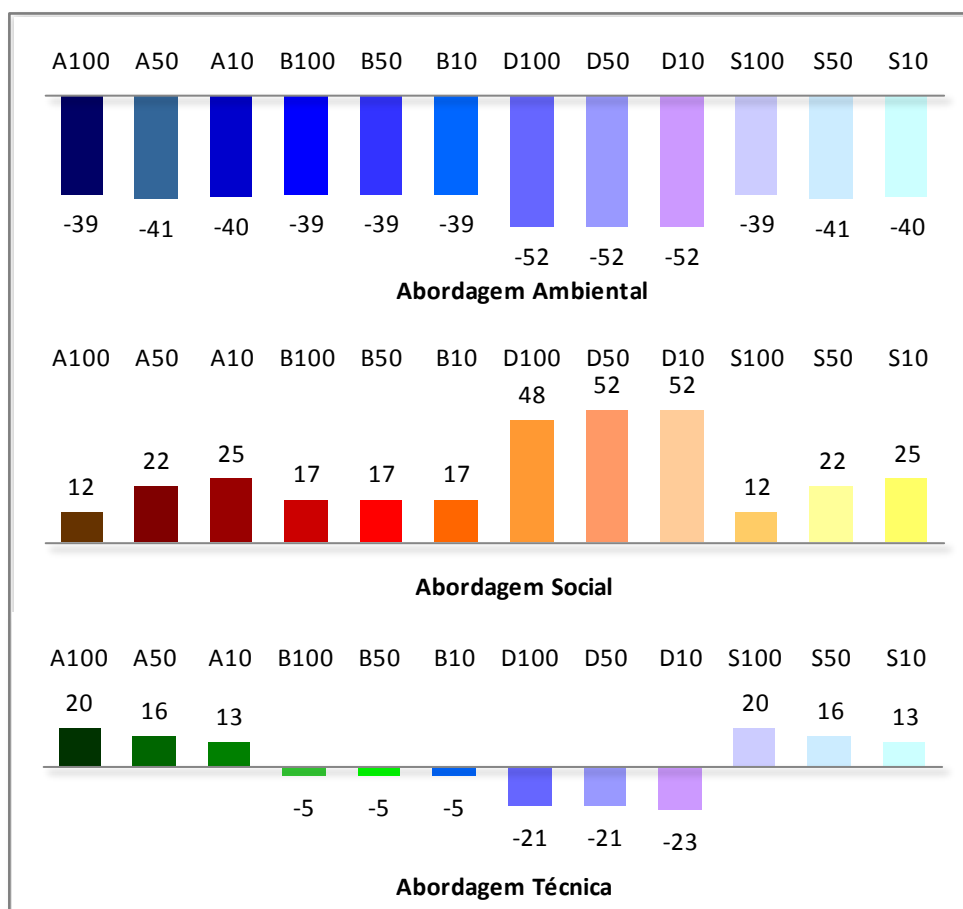


Figura 8.1 – Porcentagem de alteração no desempenho dos cenários para cada aspecto tomando como base a média dos pesos

A maior parte dos indicadores propostos analisa a vulnerabilidade da área em estudo por meio de informações objetivas obtidas a partir da modelagem hidráulica conjugada com características físicas e de uso do solo. Mesmo que a determinação dos indicadores seja feita a partir de análises qualitativas, com exceção do indicador que trata das alterações na morfologia fluvial (I_{MF}), todos os demais partem de uma ótica objetiva para sua determinação.

Para verificação da influência de variações do indicador I_{MF} resultante de visões diferenciadas entre os analistas para as intervenções efetuadas para uma mesma área foi executada uma análise de sensibilidade para este indicador. Foi alterado o valor desse indicador para o cenário D para o qual ele teve o pior desempenho variando de -7 para +7 e

de -7 para +1. As alterações efetuadas ocasionaram, na primeira situação, uma melhora no desempenho do cenário que variou de 2 a 10% com os pesos da média, e nas abordagens social e técnica. O melhor desempenho foi observado para a abordagem ambiental, cuja variação em relação ao valor do indicador aplicado inicialmente ficou em torno de 150% maior. Essa variação melhoraria sobremaneira o desempenho do indicador, mas ainda assim o desempenho do mesmo só superaria o desempenho dos demais cenários para a abordagem ambiental. Variando o valor do indicador de -7 para +1 não há alteração na ordem de preferência de desempenho para os cenários em nenhuma das abordagens avaliadas.

O cenário D teve o pior desempenho dos quatro cenários analisados em todos as abordagens adotadas. Melhorias no desempenho deste só podem ocorrer com a implantação de medidas complementares que reduzam os impactos da introdução dos diques na área.

8.3 – INDICADORES DE CUSTO

Após a aplicação da sistemática e a estimativa dos custos envolvidos na introdução dos cenários propostos para o município de Itajubá a Tabela 8.2 apresenta um resumo dos valores encontrados para cada setor. Os custos dos danos em reais encontrados são a medida utilizada na comparação dos mesmos.

Tabela 8.2 – Resumo dos custos aplicados ao município de Itajubá

Cenários \ Custos	Implantação e manutenção (R\$)	Danos à infraestrutura urbana (R\$)	Danos às residências (R\$)	Danos ao comércio e serviços (R\$)	Total dos custos (R\$)
A100	0,00	16.401.581,13	105.017.629,23	118.283.887,69	23.9703.098,05
A50	0,00	15.664.887,00	92.202.814,89	105.149.010,66	213.016.712,55
A10	0,00	13.213.129,26	73.281.970,71	66.102.803,74	152.597.903,71
B100	60.170.019,02	0,00	0,00	0,00	60.170.019,02
B50	60.170.019,02	0,00	0,00	0,00	60.170.019,02
B10	60.170.019,02	0,00	0,00	0,00	60.170.019,02
D100	163.516.939,70	11.178.864,20	65.869.730,22	36.188.217,03	276.753.751,15
D50	163.516.939,70	10.937.236,02	63.414.140,41	33.212.793,71	271.081.109,84
D10	163.516.939,70	8.485.764,81	51.918.429,36	20.050.304,22	243.971.438,09
S100	469.719,60	16.401.581,13	73.512.340,46	82.798.721,38	173.182.362,57
S50	469.719,60	15.664.887,00	64.541.970,42	73.604.307,46	154.280.884,49
S10	469.719,60	13.213.129,26	51.297.379,50	46.271.962,62	111.252.190,98

No que diz respeito aos custos de implantação e manutenção, estes são fixos para cada tipo de intervenção, dentro de uma visão realista de um trabalho efetivo de dimensionamento de medidas de controle de inundação. Dessa forma, a estimativa de custos foi realizada para alternativas de controle previstas para atender um período de retorno de 100 anos. Dentre os três cenários com a previsão de intervenções para a mitigação dos danos decorrentes de inundações, aquele que apresentou o maior valor relacionado foi o cenário D, sendo seguido do cenário B com valor equivalente a 36,80% do valor encontrado para o cenário D, e do cenário S equivalente a 0,29% dos custos de implantação e manutenção do cenário D.

Do total dos danos encontrados, os danos à infraestrutura urbana para os cenários em análise ficaram compreendidos entre 6,84% para o cenário A para um período de retorno de 100 anos até 11,93% para o cenário S para período de retorno de 10 anos, conforme pode ser visto na Figura 8.2. No cenário S, para todos os períodos de retorno, os danos à infraestrutura continuaram os mesmos que na situação do cenário A, já que a redução dos danos neste cenário se limita à redução da exposição de bens existentes no interior das edificações do cenário A.

Os danos à infraestrutura urbana tiveram um impacto maior sobre os cenários D e S que em relação ao cenário A. Isso é decorrente da redução dos danos observada para os demais setores com a implantação dos cenários, o que dependendo da situação, não tem grande interferência na infraestrutura urbana. Para o cenário B não há danos uma vez que o escoamento fica inteiramente contido na calha do rio.

Os resultados apresentados na Figura 8.2 mostram uma proporção bem próxima dos danos às residências e dos setores de comércio e serviços nos cenários A e S. Para os setores de comércio e serviços há uma redução do montante de danos na medida em que é reduzido o período de retorno da análise, enquanto que para as residências, essa relação é inversa.

No que diz respeito à infraestrutura urbana, quanto menor o período de retorno, maiores são os danos relativos determinados, o que pode ser justificado pelo fato de que logo que o escoamento sai da calha do rio já se iniciam alguns dos danos à infraestrutura mesmo antes de a água atingir os demais setores.

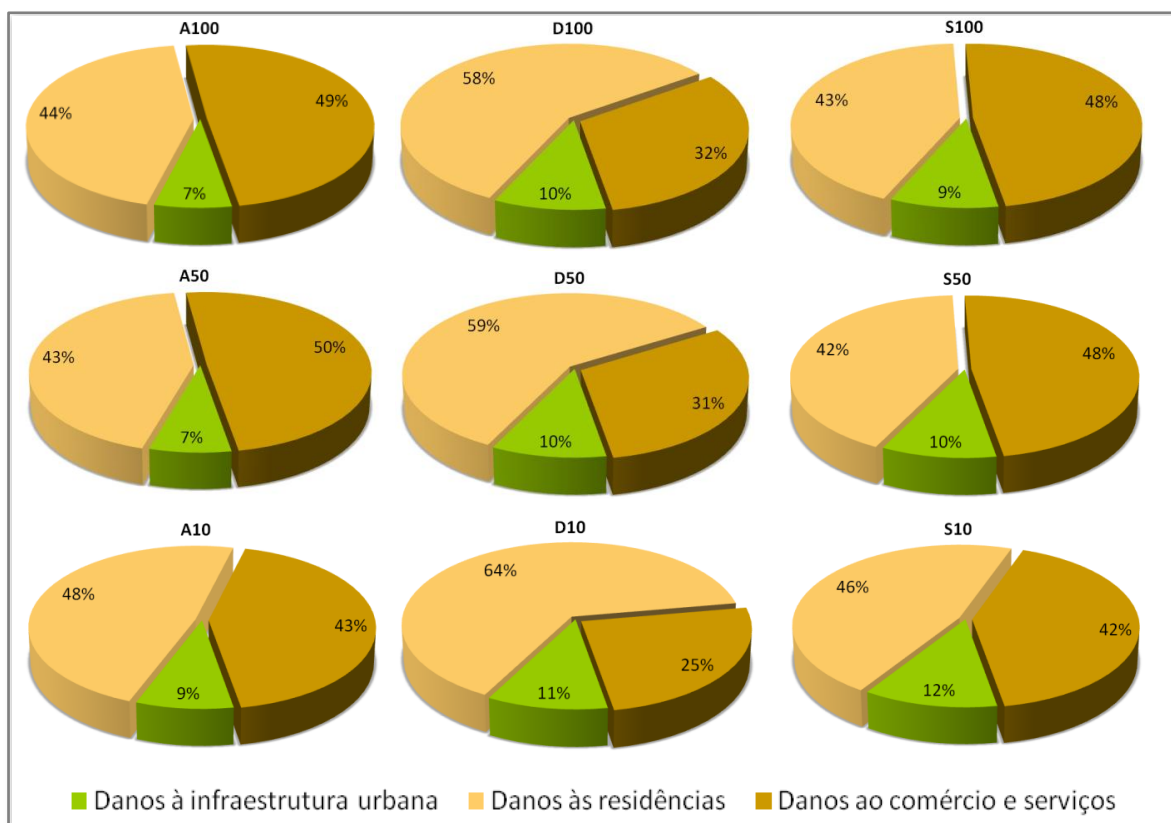


Figura 8.2 – Porcentagem relativa dos danos aos diferentes setores para os cenários

Em relação à infraestrutura urbana, a distribuição das proporções dos danos entre os sistemas avaliados é o mostrado na Figura 8.3. O sistema responsável pela maior parte dos danos é o sistema viário que é responsável por parcelas dos danos de 53% até 59% para a situação em análise, sendo seguido do sistema de limpeza (gestão de resíduos sólidos). Os setores com menores volumes de danos em relação aos danos à infraestrutura urbana são os sistemas de drenagem de águas pluviais e distribuição de energia elétrica, com variações de 2 a 3 % sobre o montante dos danos à infraestrutura urbana. Os setores de esgotamento sanitário e abastecimento de água apresentaram parcelas que variaram de 6 a 8% e 5 a 12% respectivamente.

A Figura 8.4 apresenta as reduções observadas nos danos a cada setor do município de Itajubá em relação ao cenário atual. A redução de danos com a introdução do cenário B foi a melhor observada para o município, já que não há previsão de danos a nenhum dos setores tratados. A introdução do cenário D ocasionou uma redução nos danos totais que variou de 47,28% a 52,76%, enquanto que para a introdução do cenário S, a porcentagem de redução nos danos foi quase a mesma para os três cenários com variações de 27,40 a

27,95%.

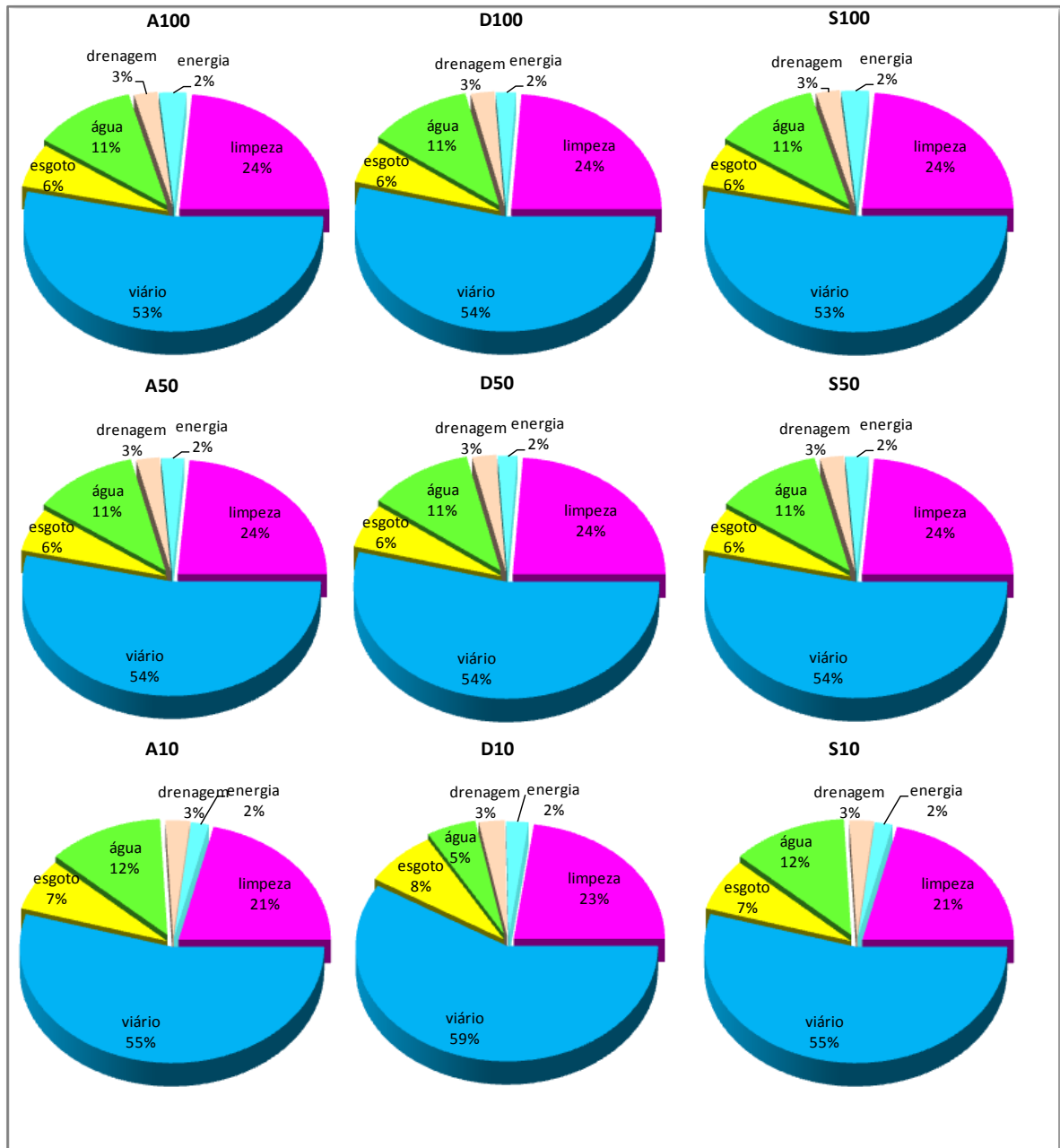


Figura 8.3 – Distribuição dos danos entre os sistemas de infraestrutura urbana em cada cenário

Em relação à infraestrutura urbana, o cenário D foi responsável por uma redução de danos com valores variando de 30,18 a 35,78%. Para este mesmo cenário, as reduções sobre os danos ao setor habitacional ficaram no intervalo compreendido entre 29,15 e 37,28%, para o setor de comércio e serviços a redução dos danos ficou no intervalo compreendido entre 69,41 e 69,67%, mostrando um resultado melhor no que diz respeito à geração de danos do

cenário D em relação ao cenário S.

Analisando a redução das vazões para cada período de retorno, uma redução de 9,39% sobre as vazões equivalentes aos períodos de retorno de 100 e 50 anos obteve-se um montante de danos reduzido em 11,13%. Para a redução nas vazões dos períodos de retorno de 100 para 10 anos da ordem de 31,98% há uma redução no montante dos danos de 36,34%.

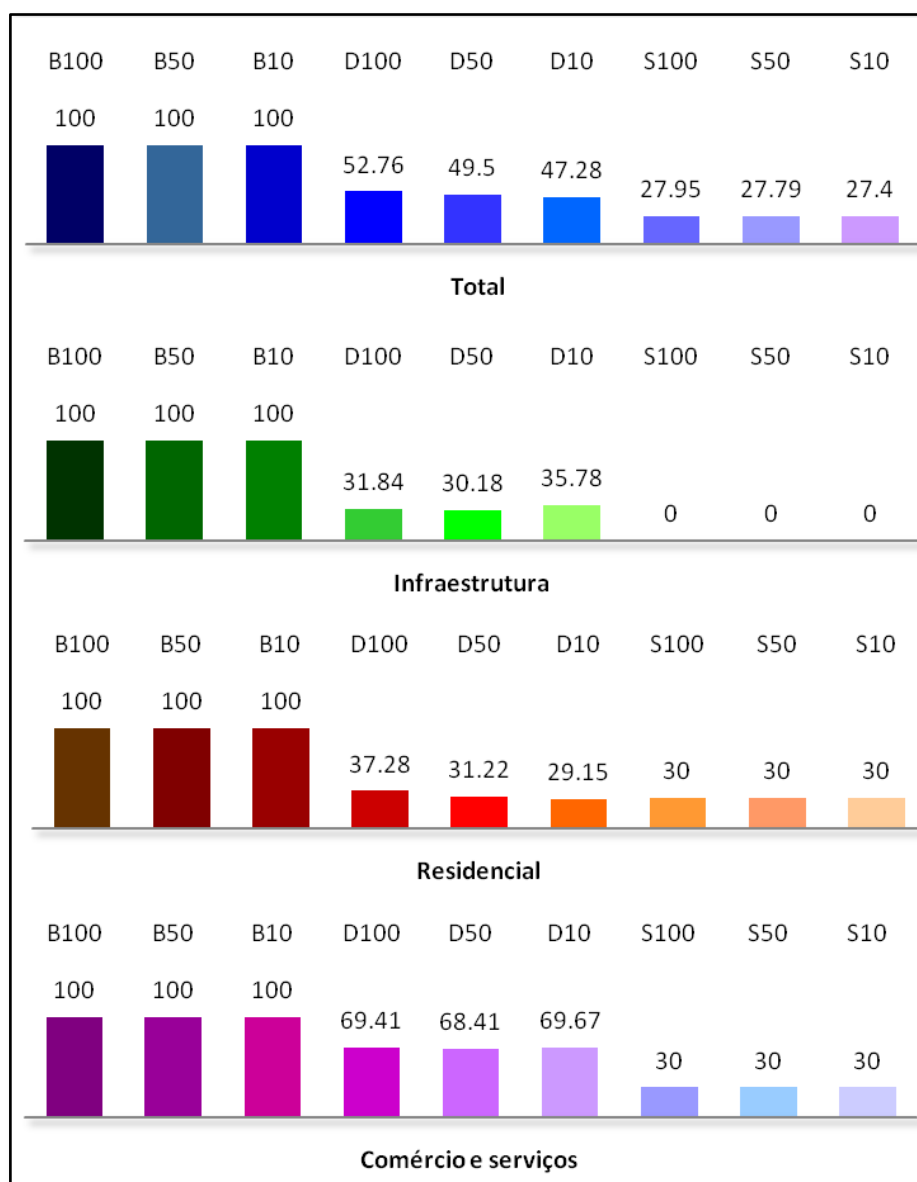


Figura 8.4 – Porcentagem de redução dos danos para os cenários em relação ao cenário atual para cada um dos setores avaliados

Analisando as variações na extensão das manchas de inundação e na redução de danos, especificamente à infraestrutura urbana, pode-se afirmar que a redução de danos é ligeiramente superior ao recuo observado, em porcentagem, da mancha de inundação entre os períodos de retorno analisados. Além disso, o cenário S não apresenta redução adicional a este setor. A ilustração dos valores encontrados para a comparação entre as reduções observadas nas manchas de inundação e na redução de danos pode ser visualizada na Figura 8.5.

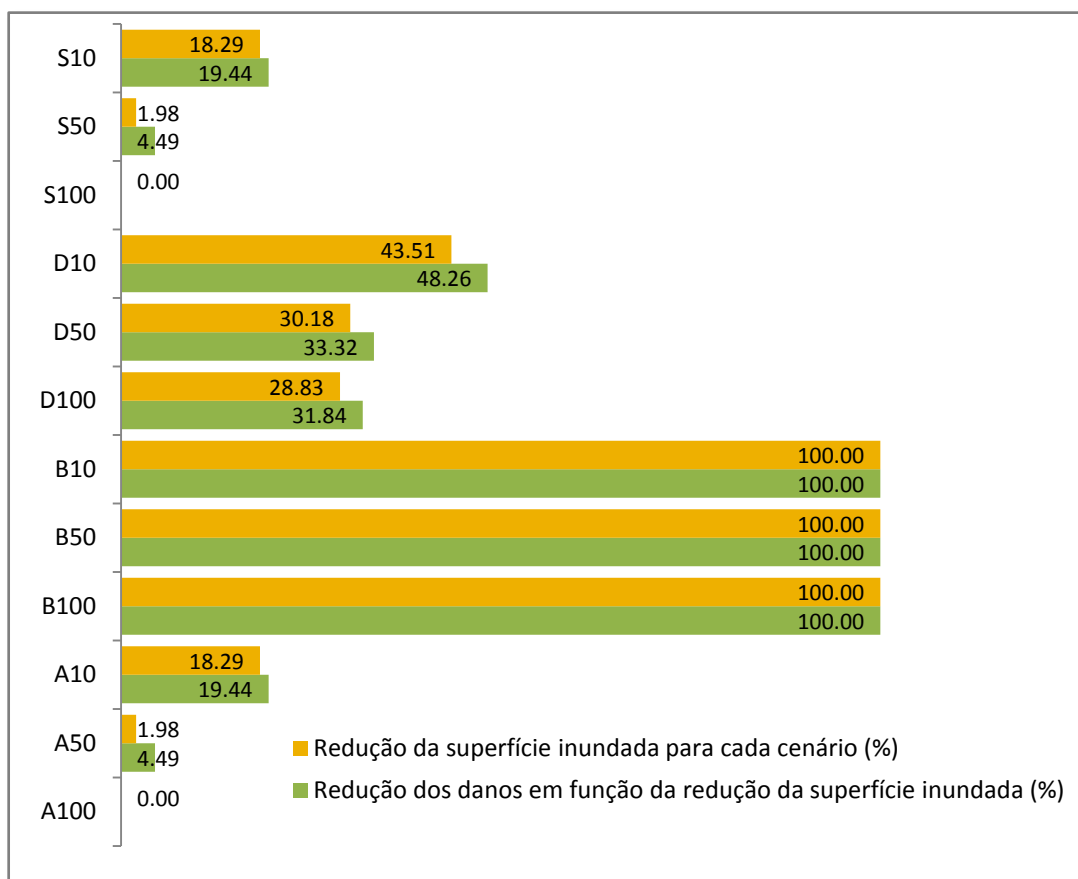


Tabela 8.5 – Comparação entre as reduções observadas nas manchas de inundação e nos danos à infraestrutura urbana para cada cenário

A Figura 8.6 apresenta a distribuição dos danos à infraestrutura urbana para cada sistema avaliado em todos os períodos de retorno utilizados em relação aos danos diretos aos demais setores avaliados. Destacam-se nessa análise os danos ao sistema viário, responsável pelas maiores proporções dos danos estimados com uma variação de 3,95% no cenário A100 para 7,39% para o cenário S10. Os sistemas responsáveis pelas menores proporções dos danos foram os sistemas de distribuição de energia elétrica e drenagem de águas pluviais com variações bastante próximas entre os cenários analisados (de 0,18% a 0,35%).

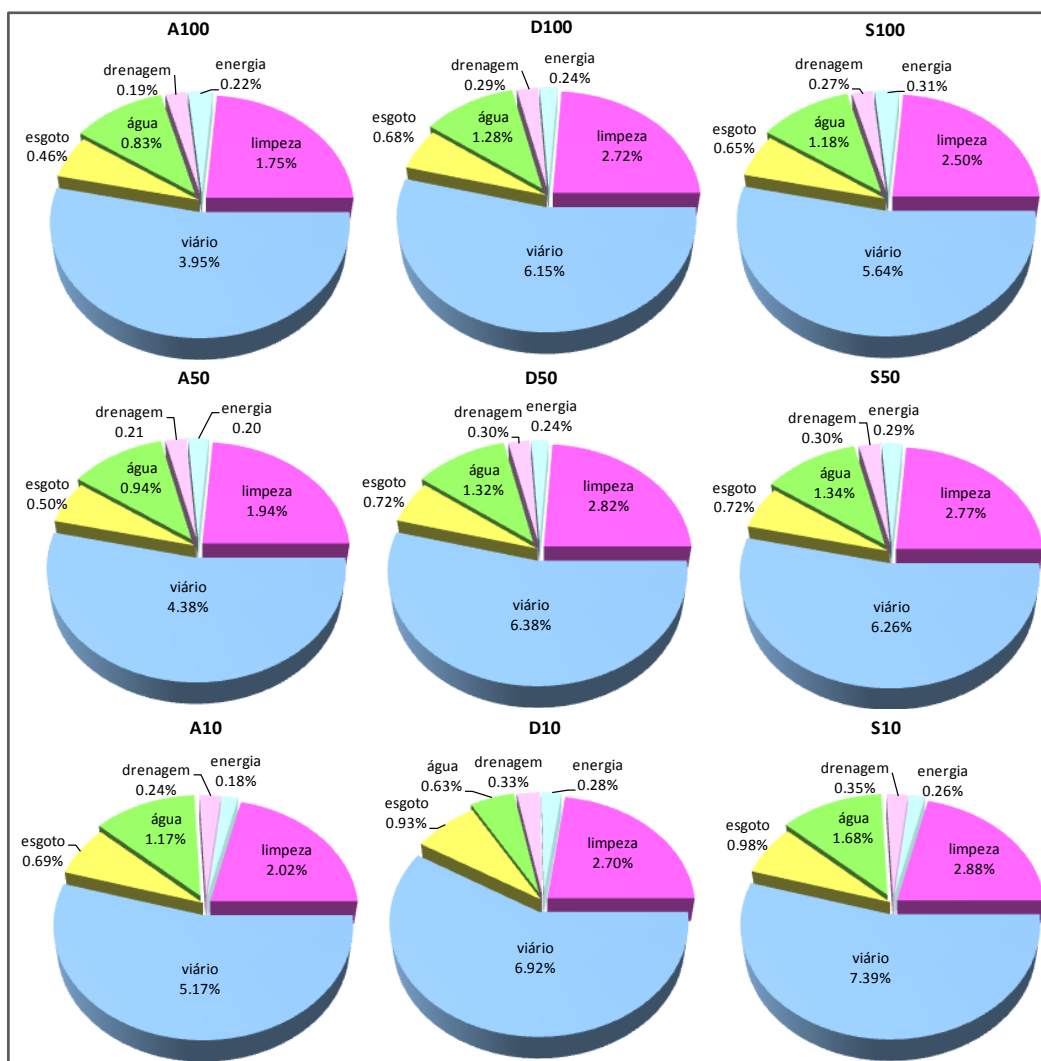


Figura 8.6 – Proporção dos danos a cada sistema da infraestrutura urbana em relação ao total dos danos diretos aos setores habitacional, comercial e de serviço

Uma análise dos custos das intervenções e dos danos distribuídos para a população da área urbana de Itajubá é apresentada na Tabela 8.3. Os resultados mostram que a intervenção com o menor custo por habitante é o sistema de alerta (cenário S), sendo seguida da barragem (cenário B) e por último, com maior valor relacionado por habitante, a solução pelos diques laterais (cenário D).

Em relação aos danos, executando a mesma análise e distribuindo os custos dos mesmos pela população da zona urbana de Itajubá, o melhor resultado é o apresentado pelo cenário B que não apresenta custos dos danos associados. Para os demais cenários, os valores relacionados por habitante aumentam conforme o período de retorno analisado ficando em intervalos de R\$971,67 a R\$1367,59 para o cenário D, de R\$1337,95 a R\$2085,90 para o cenário S e de R\$1842,97 a R\$2894,96 para o cenário A.

Tabela 8.3 - Custos dos cenários por habitante da zona urbana do município de Itajubá

Cenário	Custo das intervenções (R\$)	Custo dos danos (R\$)	Custo da solução (R\$)
A100	0,00	2894,96	2894,96
A50	0,00	2572,67	2572,67
A10	0,00	1842,97	1842,97
B100	726,69	0,00	726,69
B50	726,69	0,00	726,69
B10	726,69	0,00	726,69
D100	1974,84	1367,59	3342,44
D50	1974,84	1299,08	3273,93
D10	1974,84	971,67	2946,51
S100	5,67	2085,90	2091,57
S50	5,67	1857,62	1863,30
S10	5,67	1337,95	1343,63

A análise dos custos das soluções propostas distribuídos pela população da zona urbana de Itajubá mostrou que a solução que, em termos financeiros, apresenta menor valor relacionado por habitante é o cenário B, uma vez que o mesmo só apresenta os custos relacionados às intervenções. Para os demais cenários, os valores são variáveis dependendo do período de retorno da análise, apresentando os melhores resultados após o cenário B, o cenário S com valores variando de R\$1343,63 a 2091,57, sendo seguido do cenário A com valores variando de R\$1842,97 a R\$2894,96 e por último, apresentando maior valor relacionado por habitante, o cenário D com valores variando de R\$2946,51 a R\$3342,44.

8.4 – ANÁLISE DESEMPENHO-CUSTO

Após o cálculo dos valores dos custos de cada cenário foi calculado o índice de custo conforme descrito no item 6.8 para cada situação a fim de proceder a análise desempenho *versus* custo. A aplicação do conceito de Pareto e o traçado dos gráficos de Pareto para as situações analisadas permitiram a visualização do comportamento de cada cenário em relação à situação mais ou menos favorável e seu desempenho em relação aos custos.

A Tabela 8.4 apresenta um resumo dos índices de desempenho e dos índices de custo obtidos para cada cenário utilizando as médias dos pesos para a obtenção dos índices de desempenho. Pelo método utilizado a opção mais próxima da ideal é aquela que, no gráfico, encontra-se mais próxima ao canto superior direito, e a mais próxima da solução anti-ideal é aquela que encontra-se mais próxima ao canto inferior esquerdo do mesmo.

Considerando os resultados dos índices de desempenho pela média dos pesos apresentados na Tabela 8.4 e pela Figura 8.7, em relação aos cenários A e S para os períodos de retorno

de 100 e 50 anos não foi expressiva a diferença de desempenho obtida. Já o cenário D apresentou um desempenho bem abaixo dos dois últimos cenários citados.

Tabela 8.4 – Análise desempenho – custo pela média dos pesos

Identificação	Índice de desempenho	Índice de custo
A100	0,49	0,78
B100	0,64	3,12
D100	0,29	0,68
S100	0,49	1,08
A50	0,51	0,82
B50	0,64	2,90
D50	0,29	0,64
S50	0,51	1,13
A10	0,52	0,93
B10	0,64	2,36
D10	0,31	0,58
S10	0,52	1,28

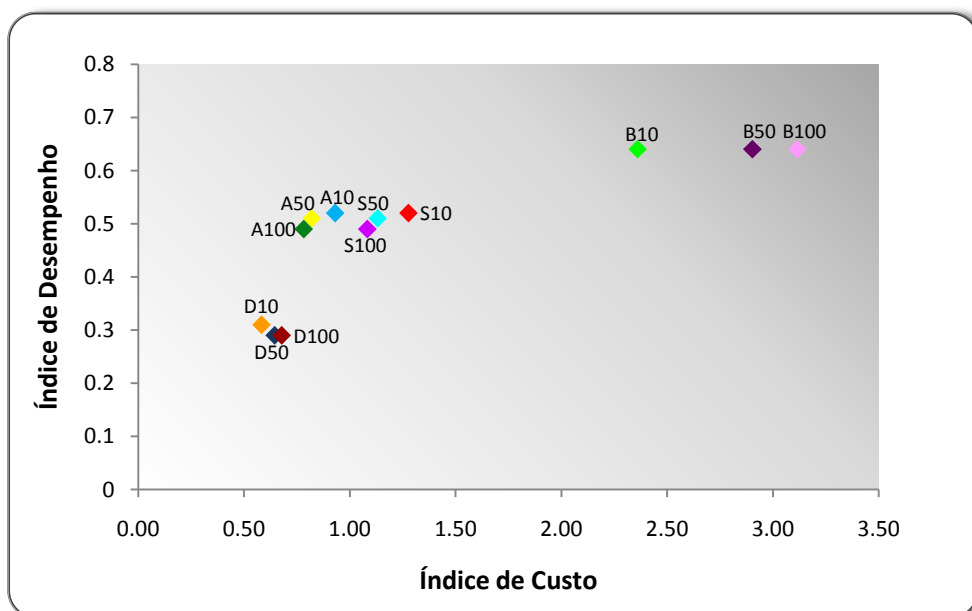


Figura 8.7 – Gráfico de Pareto para a média dos pesos

Com relação aos cenários A e S, os índices de desempenho de ambos são os mesmos. O que define a situação mais ou menos próxima da ideal, neste caso, é o índice de custos determinado para cada cenário. Nesse sentido, dentre os dois cenários considerados, apresenta uma solução mais próxima da ideal a solução apresentada pelo cenário S em todos os períodos de retorno avaliados.

A mesma análise foi feita tomando como base as diferentes abordagens adotadas. Os resultados encontrados para essa análise estão demonstrados nas Tabelas de 8.5 a 8.7 e nas Figuras 8.8 a 8.10.

Para a abordagem relacionada ao meio ambiente foram encontrados os resultados apresentados na Tabela 8.5 e na Figura 8.8. Para essa abordagem os quatro cenários sofreram uma queda de desempenho. Apesar da redução da distância entre os resultados obtidos para os quatro cenários, foi confirmada a solução apresentada para a análise pela média dos pesos. O cenário B foi o que ficou mais perto da solução ideal e o cenário D o mais próximo da anti-ideal.

Tabela 8.5 - Análise desempenho – custo pela abordagem ambientalista

Identificação	Índice de desempenho	Índice de custo
A100	0,30	0,78
B100	0,39	3,12
D100	0,14	0,68
S100	0,30	1,08
A50	0,30	0,82
B50	0,39	2,90
D50	0,14	0,64
S50	0,30	1,13
A10	0,31	0,93
B10	0,39	2,36
D10	0,15	0,58
S10	0,31	1,28

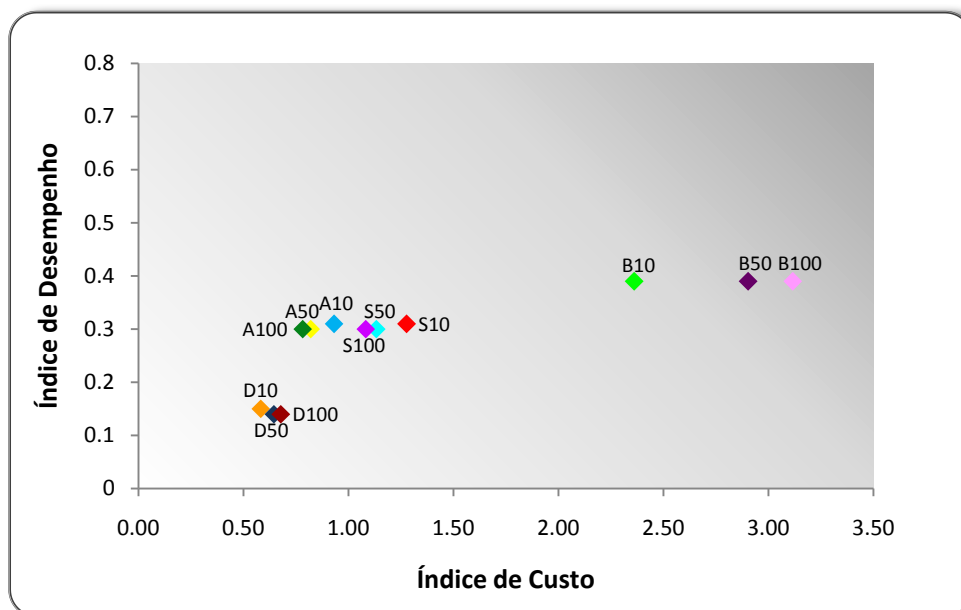


Figura 8.8 – Gráfico de Pareto para a abordagem ambientalista

Adotando-se a abordagem social foi observada uma melhoria no comportamento de todos os cenários utilizados na análise. Assim como nas situações apresentadas anteriormente há a confirmação da solução definida para o cenário B como a mais próxima da solução ideal e a do cenário D como a solução mais distante da ideal. O comportamento dos cenários nessa abordagem é bastante semelhante aos comportamentos observados nos dois casos anteriores onde os cenários A, D e S encontram-se bem próximos, tendo destaque no gráfico o cenário B. Os resultados obtidos para essa análise podem ser vistos na Tabela 8.6 no gráfico da Figura 8.9.

Tabela 8.6 - Análise desempenho – custo pela abordagem social

Identificação	Índice de desempenho	Índice de custo
A100	0,55	0,78
B100	0,75	3,12
D100	0,43	0,68
S100	0,55	1,08
A50	0,62	0,82
B50	0,75	2,90
D50	0,44	0,64
S50	0,62	1,13
A10	0,65	0,93
B10	0,75	2,36
D10	0,47	0,58
S10	0,65	1,28

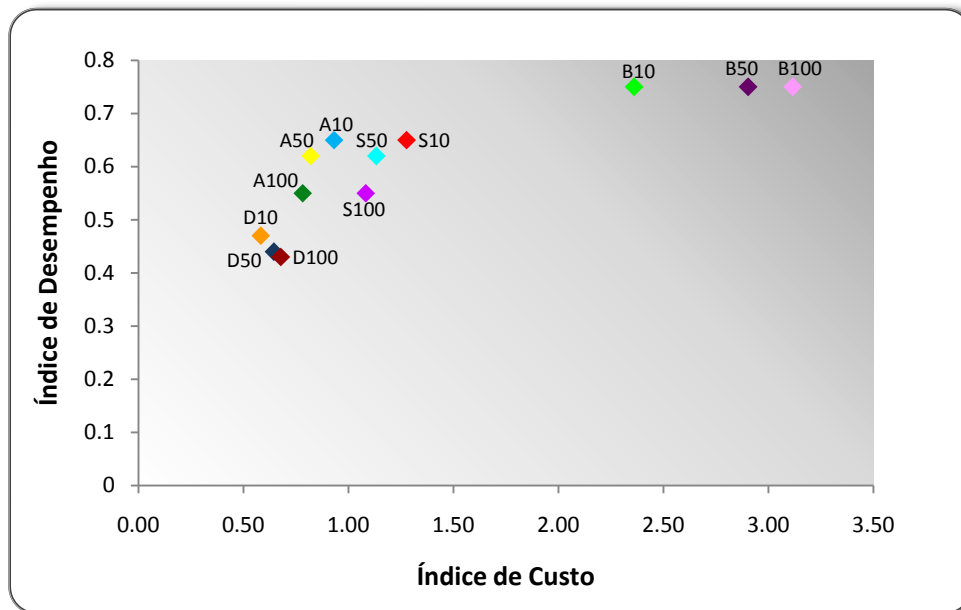


Figura 8.9 – Gráfico de Pareto para a abordagem social

Adotando-se a ponderação especificada para a abordagem técnica para análise desempenho-custo observa-se, mais uma vez, a confirmação dos resultados obtidos nas três primeiras análises efetuadas: a solução mais próxima da ideal é a apresentada pelo cenário B e a solução mais distante da solução ideal é a apresentada pelo cenário D. Os resultados nessa análise estão dispostos na Tabela 8.7 e na Figura 8.10.

Tabela 8.7 - Análise desempenho – custo pela abordagem técnica

Identificação	Índice de desempenho	Índice de custo
A100	0,59	0,78
B100	0,61	3,12
D100	0,23	0,68
S100	0,59	1,08
A50	0,59	0,82
B50	0,61	2,90
D50	0,23	0,64
S50	0,59	1,13
A10	0,59	0,93
B10	0,61	2,36
D10	0,24	0,58
S10	0,59	1,28

Um pouco diferenciado dos resultados anteriores ocorreu um distanciamento entre os resultados obtidos para os cenários A, D e S evidenciando a menor aptidão do cenário D para a solução dos problemas relacionados às inundações para a área urbana de Itajubá de acordo com as premissas estabelecidas.

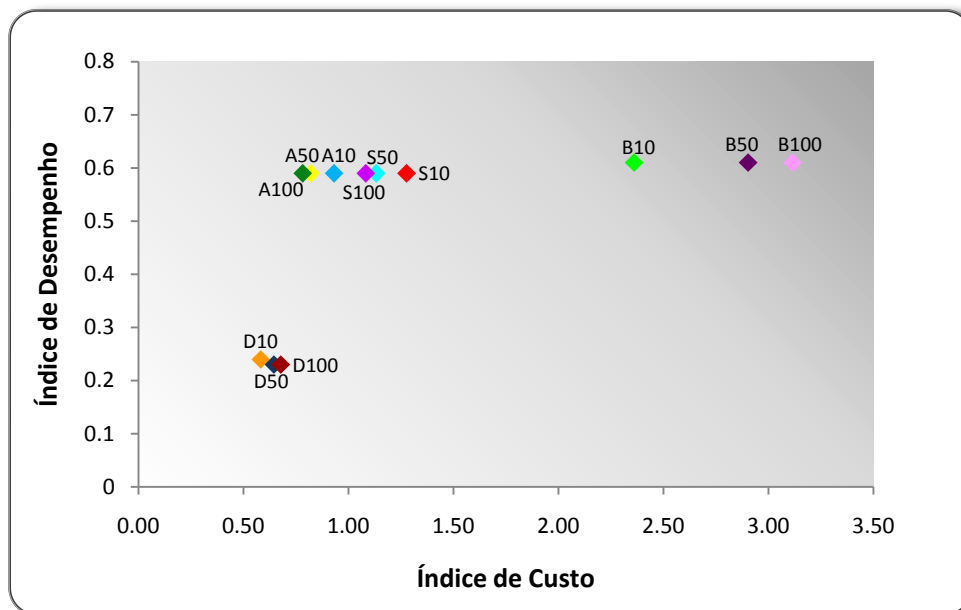


Figura 8.10 – Gráfico de Pareto para abordagem técnica

Os resultados da análise desempenho-custo para os cenários definidos para o município de Itajubá a partir das ênfases dadas nos pesos relativos às quatro abordagens na análise apresentaram o mesmo resultado final. Algumas alterações na configuração dos resultados definiram uma maior ou menor proximidade no comportamento dos cenários A, D e S de acordo com a abordagem adotada, mas a configuração final obtida para as premissas da metodologia proposta sugerem a adoção do cenário B para a solução dos problemas de inundações no município. A segunda opção seria a apresentada pelo cenário S sendo seguida da opção do cenário A. A última solução e mais próxima da anti-ideal conforme o método é a solução apresentada pelo cenário D.

9.0 – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O objetivo do presente estudo foi o de contribuir para o planejamento de áreas urbanas sujeitas a inundações por meio da proposição de uma ferramenta de auxílio à decisão que incorpore elementos além da abordagem tradicional do problema, contemplando os aspectos ambientais, sociais, de saúde pública e dos danos decorrentes das inundações e da introdução de medidas de controle no contexto da zona urbana inundável.

A ferramenta proposta se baseia na utilização de indicadores como elemento para avaliar o comportamento de cenários para o controle de inundações e para a seleção de alternativas de controle. A escolha deste instrumento para tratar a questão foi decorrente das potencialidades do mesmo em agregar informações de diferentes naturezas.

Para atingir os objetivos formulados adotou-se a construção de um referencial teórico focado no contexto da ocorrência de inundações em áreas urbanas e no impacto da introdução das medidas alternativas. A partir desse referencial teórico foi possível estabelecer diretrizes para a aplicação de medidas de controle de inundações a partir de características físicas e de ocupação, definir a escala de atuação das mesmas e identificar, dentre as metodologias disponíveis, aquelas que atendessem aos objetivos formulados para a pesquisa.

A construção da sistemática proposta se baseou na perspectiva do planejador buscando atender às necessidades do planejamento em nível municipal ou de sub-bacia ao idealizar uma ferramenta de fácil aplicação e compreensão. Partindo dessa análise, as conclusões ao final do trabalho estão descritas a seguir, sendo posteriormente apresentadas algumas perspectivas.

9.1 - CONCLUSÕES

9.1.2 - Sistemática de avaliação de danos à infraestrutura urbana

Uma vertente do trabalho que pode ser considerada como contribuição original no processo de avaliação de danos diretos decorrentes de inundações em áreas urbanas foi a elaboração da sistemática de avaliação de danos à infraestrutura. A execução dessa etapa do trabalho buscou preencher uma das lacunas existentes no que diz respeito à análise financeira

relacionada à seleção de soluções para minimização dos impactos das inundações em regiões urbanas. Ao incluir este aspecto na análise, procurou-se estabelecer uma sistemática que pudesse ser aplicada de maneira geral desde que alguns elementos metodológicos sejam definidos a priori. A sistemática proposta, ainda que não possa ser considerada exaustiva, poderá contribuir para a melhoria da avaliação de danos decorrentes de inundações em trabalhos futuros.

Em se tratando das dificuldades, o principal empecilho para estabelecimento da sistemática de avaliação de danos à infraestrutura urbana foi a obtenção de informações para subsidiar o seu desenvolvimento. São vários os sistemas envolvidos nessa proposta de avaliação e os dados necessários para sua construção normalmente não são catalogados após os eventos de inundação. Quando existem informações disponíveis, estas são soltas não sendo passíveis de correlação com os parâmetros das precipitações e das inundações, o que prejudica a ligação dos danos ocorridos aos eventos.

A pulverização das atividades de manutenção e reparo dos danos inseridas nos contratos de prestação de serviço dificulta consideravelmente a coleta dos dados e, muitas vezes, impossibilita a contabilização dos seus custos.

Deve-se destacar, no processo de aquisição de dados para a elaboração da sistemática, o processo de execução de entrevistas com representantes de concessionárias de serviços públicos e, principalmente, com técnicos que atenderam às necessidades pós-cheia. Outro aspecto interessante é que durante as entrevistas é possível vivenciar um pouco das angústias da população durante os eventos e perceber as limitações e as necessidades das concessionárias e órgãos públicos durante os desastres.

A base da proposição da sistemática foram as entrevistas juntamente com os documentos de avaliação de danos (AVADAN) fornecidos pela Defesa Civil. As informações mais ricas do processo foram obtidas por esses dois instrumentos. Os AVADAN foram fonte importante de consulta para a elaboração da sistemática, se não por definir o método de aplicação, mas por permitir a confirmação dos dados coletados nas entrevistas. Apesar de não trazer o detalhamento necessário para a elaboração da sistemática, esses documentos foram utilizados durante todo o processo.

Uma grande dificuldade diz respeito ao levantamento de informações nos órgãos das prefeituras. No processo de coleta de dados efetuado nos municípios do sul de Minas Gerais apenas uma das prefeituras contatadas possuía relatório sobre inundações passadas: a prefeitura de Pouso Alegre e o relatório da cheia de 2000. Ficou evidenciada a descontinuidade de ações com mudanças de governos municipais e a falta de compromisso com a manutenção de documentos produzidos por governos anteriores.

Não foi possível estabelecer correlações que permitissem a inclusão para uma avaliação geral dos danos diretos em estruturas tais como pontes, bueiros e canais, na sistemática de avaliação de danos proposta. A aleatoriedade com que ocorrem esses danos não permitiu a sua contabilização com os dados e relatos disponíveis.

O resultado final dessa etapa do trabalho foi a proposição de uma sistemática de avaliação de danos que parte das características do sistema instalado e permite a estimativa dos custos dos danos potenciais a seis sistemas de infraestrutura urbana partindo das características das inundações: sistema viário, abastecimento de água, esgotamento sanitário, distribuição de energia elétrica, drenagem de águas pluviais urbanas e gestão de resíduos sólidos. Essa sistemática se mostrou simples de ser aplicada, necessitando de informações relativas às características da inundação e do sistema instalado.

9.1.3 – Indicadores de vulnerabilidade e sistemática de auxílio à decisão

A definição dos critérios e dos indicadores de vulnerabilidade se baseou num amplo referencial bibliográfico que permitiu a incorporação dos resultados de outras pesquisas nas áreas de interesse para tratar o problema. Durante o processo de formulação dos indicadores foi constante a preocupação com a utilização de ferramentas disponíveis aos órgãos de planejamento, e a utilização de informações que reduzissem a subjetividade na análise.

As entrevistas com especialistas em geomorfologia foram fundamentais para a formulação dos indicadores relacionados às alterações na morfologia fluvial e na geração de inundação a jusante. Além das entrevistas, as trocas de idéias com profissionais de áreas correlatas ao estudo auxiliaram na identificação de falhas na proposição e em adequações da formulação.

O processo de consulta aos especialistas trouxe um resultado satisfatório do ponto de vista da pertinência dos aspectos abordados na análise e transmitiu segurança para a continuidade do processo de formulação dos indicadores. A análise efetuada pelos profissionais direcionou algumas das alterações feitas para chegar na formulação final.

Apesar do resultado satisfatório do processo de consulta aos especialistas, houve a necessidade de modificar o método adotado inicialmente, pois concluiu-se que o método de ponderação escolhido no primeiro momento (método AHP) não se adapta bem a esse tipo de análise. Acredita-se que a hesitação diante da escolha do nível de importância entre os aspectos abordados seja o motivo do resultado obtido em relação aos índices de incoerência, sendo necessária uma maior interação com os envolvidos no processo para atingir um nível de avaliação satisfatório. Assim, para dar continuidade ao processo de consulta aos especialistas sem, no entanto, demandar um tempo excessivo para atingir os objetivos desta, foi continuado o processo com o método de atribuição direta do peso.

Mesmo tendo recebido o retorno de apenas 11 dos especialistas consultados, esse número pôde ser considerado suficiente para o prosseguimento do desenvolvimento da metodologia.

Os métodos de agregação e apresentação dos resultados foram escolhidos a partir da sua utilização em estudos anteriores aplicado à área de drenagem urbana com resultados positivos, e pela sua facilidade de aplicação. Pode-se concluir que o método TOPSIS para agregação dos indicadores e definição dos índices de desempenho se mostrou adequado para o manuseio por planejadores sem a necessidade de experiência na utilização de métodos multicritério. O esquema de apresentação de resultados pelo gráfico de Pareto também foi considerado adequado para a representanção dos resultados.

9.1.3 - Aplicação da sistemática ao estudo de caso

Para consolidação da metodologia proposta foi feita a sua aplicação em um estudo de caso real, com a finalidade de verificar se a formulação dos indicadores era exequível com as ferramentas propostas. Ao final da aplicação, foi possível concluir que a formatação definida para os indicadores é factível do ponto de vista da extração das informações e aplicação da metodologia, e que as ferramentas utilizadas apresentaram-se adequadas ao estudo.

A modelagem aplicada se mostrou adequada aos objetivos do estudo e seus resultados mostraram o potencial da área onde o município está situado para a geração de inundações. Pelos resultados, uma chuva com vazão de período de retorno de 10 anos é capaz de inundar cerca de 38% da área urbana do município. Um evento como este pode acarretar aproximadamente 68% dos danos totais previstos para o município para um período de retorno de 100 anos, mostrando as características singulares do município. A área urbana do município inundada para uma vazão de 100 anos de período de retorno é praticamente a mesma observada para uma vazão de 50 anos de período de retorno, sendo esta, apenas 1,98% inferior àquela. A diferença entre o montante de danos nas duas situações é de aproximadamente 4,5%.

A aplicação da metodologia apresentou algumas dificuldades relacionadas à organização das informações necessárias, tendo em vista suas diferentes origens e grande quantidade de dados. Os dados digitais foram gerados em pacotes computacionais diferentes, muitas vezes em escalas e sistemas de referência diferentes, tornando a montagem do banco de dados um processo lento. Foi necessário compatibilizar as informações do modelo hidráulico e do programa de geoprocessamento utilizado. Os resultados gerados no modelo HEC-RAS não estavam georreferenciados, dificultando assim, a sua inserção no ArcGIS.

A aplicação da sistemática de avaliação de danos à infraestrutura a um caso real evidenciou a necessidade de ter disponíveis os projetos e o detalhamento das características dos sistemas avaliados. No presente estudo as medidas de controle previstas para comporem os cenários foram detalhadas conforme consulta a técnicos e engenheiros da área de construção civil e do material constante na bibliografia consultada. Além destas, algumas suposições com relação à localização das redes e de alguns equipamentos foram feitas por não haver nenhum documento detalhando a rede instalada. Para o uso adequado da sistemática sugere-se a obtenção antecipada dos projetos ou levantamento de detalhes dos sistemas de infraestrutura urbana. Assim, quanto mais detalhes disponíveis mais próxima da realidade estará a avaliação.

A sistemática de avaliação de danos se mostrou fácil de ser aplicada quando são disponibilizadas as informações relativas aos sistemas instalados. Os resultados mostraram uma variação dos danos diretos à infraestrutura urbana no cenário atual em relação aos

danos diretos totais, compreendida entre 6,84% para um período de retorno de 100 anos e 8,66% para um período de retorno de 10 anos. Para o cenário D essa variação ficou entre 9,87% e 10,55% enquanto que para o cenário S a variação foi de 9,50% a 11,93%, respectivamente, para os mesmos períodos de retorno. A porcentagem dos danos à infraestrutura aumenta quanto menor for o período de retorno analisado, o que mostra que para alguns setores tais como o de esgotamento sanitário, não é necessário uma grande extensão da mancha de inundação para a ocorrência de danos consideráveis ao sistema.

Dentre os sistemas de infraestrutura urbana avaliados, os que apresentaram os maiores índices de danos foram o sistema viário, responsável por parcelas que variaram de 53,79% a 58,73% dos danos nos cenários analisados, e o sistema de gestão de resíduos sólidos (limpeza pública), responsável por parcelas de 20,83% a 23,22% dos danos. O setor que é menos atingido é o de distribuição de energia elétrica, com frações correspondentes a 1,90% a 2,96%.

Deve-se salientar aqui que as ações preventivas nas áreas urbanas inundáveis têm uma grande importância na redução dos danos à infraestrutura. Pelas entrevistas realizadas em Itajubá pode-se perceber a preocupação que as concessionárias têm em melhorar dia-a-dia os esquemas de proteção dos sistemas.

A metodologia proposta para a análise de desempenho dos cenários por meio de indicadores não se mostrou sensível a pequenas variações resultantes de diferenças de ponto de vista, já que os indicadores foram formulados em sua quase totalidade a partir de medidas diretas, reduzindo assim o caráter subjetivo da análise e evidenciando a robustez do método.

Os resultados da aplicação da metodologia a partir das quatro tendências de ponderação convergiram indicando a alternativa B (barragem 3A) como a alternativa mais adaptada à região para solução dos problemas relativos às inundações para o município de Itajubá, dentro das premissas estabelecidas para o desenvolvimento do estudo. Os demais impactos da introdução desse cenário nas áreas sob influência dessa intervenção, tais como aqueles sofridos pelas propriedades onde as mesmas serão inseridas e os impactos ambientais que a inserção da mesma acarretarão devem ser objeto de outros estudos não contemplados no

âmbito desta tese.

Os resultados apresentados na forma de gráficos aplicando o método TOPSIS e os gráficos de Pareto se mostraram bastante claros e objetivos, permitindo aos usuários da metodologia a interpretação imediata dos resultados obtidos, tanto em relação ao desempenho dos cenários quanto em relação aos custos envolvidos.

No que diz respeito ao montante de danos diretos obtidos, os valores apresentam-se como uma estimativa coerente se consideradas as estimativas encontradas na literatura para a estimativa dos danos globais. Pode-se afirmar, no entanto, que os valores encontrados não contemplam os valores reais dos danos diretos. Estes seguramente são superiores aos mencionados, já que não foi possível contabilizar de maneira generalizada os danos sofridos por elementos tais como pontes, canais, etc. Além disso, os danos indiretos tangíveis não foram abordados.

Com relação à generalização dos resultados, ficou bem clara durante a aplicação da sistemática, que a ocupação tem relação direta com o montante de danos, assim como a configuração dos sistemas instalados.

Finalmente, a sistemática proposta para seleção de alternativas para o controle de inundações se mostrou aplicável, utilizando-se dados normalmente acessíveis às prefeituras, além de ter-se mostrado robusta. Ainda, deve-se ressaltar que a sistemática de avaliação de danos pode ser utilizada isoladamente quando se deseje apenas uma estimativa de danos.

9.2 - PERSPECTIVAS

Como perspectiva para trabalhos futuros vislumbra-se a conveniência da aplicação da metodologia proposta a outros estudos de caso, com variação das características de relevo, ocupação da área, a escala de aplicação dos indicadores e gênese das inundações, a fim de validar as recomendações efetuadas.

Longe de esgotar o assunto, são necessárias contribuições de outros estudos no sentido de possibilitar a incorporação de informações detalhadas dos aspectos abordados, de modo a refinar a formulação dos indicadores de vulnerabilidade melhorando a sensibilidade destes

aos impactos sofridos, principalmente no que diz respeito aos aspectos sociais e de saúde pública. Nessa perspectiva a inclusão da participação da população de maneira mais clara na análise parece pertinente.

Ainda com relação aos indicadores, a introdução de um viés regional para a composição dos mesmos evidenciando os aspectos mais importantes da localidade onde os mesmos serão aplicados poderá atender ao colocado por um dos especialistas no penúltimo parágrafo da página 165 do presente documento. Além disso, a regionalização dos indicadores permitirá uma avaliação mais completa da aplicabilidade do método AHP para a ponderação dos mesmos.

No tocante à avaliação de danos, espera-se que os resultados e as recomendações constantes nessa pesquisa possam incentivar a coleta e o armazenamento de informações relativas aos danos decorrentes de inundações em áreas urbanas. Espera-se também, que a presente proposta de avaliação possa ser mais detalhada em relação à identificação dos mecanismos formadores dos danos e nortear a coleta de informações que auxiliem no processo de avaliação dos danos à infraestrutura urbana.

De modo a incrementar a sistemática de avaliação de danos espera-se a inclusão de análises de danos indiretos tangíveis, tais como aqueles resultantes do corte do atendimento de serviços públicos e os custos de socorro às vítimas das inundações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agences de l'Eau (1998). "Guide pratique de la methode Inondabilité". *Étude Inter-Agences*, n. **60**, Ministère de l'Amenagement du Territoire et de l'Environnement, Paris, França, 158p.
- Agences de l'Eau (1999). *Etudes des agences de l'eau n° 72 – les outils d'évaluation de La qualité des cours d'eau (S.E.Q.)*. Rhône-Méditerranée-Corse, França. 16p.
- Andjelkovic, I. (2001). "Guidelines on non-structural measures in urban flood management". *IHP-V, Technical Documents in Hydrology*, n. **50**, UNESCO, Paris, França. Disponível em: www.unesdoc.unesco.org .
- Azzout, Y. Barraud, S; Crês, F. N. e Alfakih, E. (1994). *Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial: Choix, Conception, Réalisation et Entretien. Technique et Documentation*. Lavoisier. Paris, França. 372p.
- Azzout, Y. Barraud, S; Crês, F. N. e Alfakih, E. (1995). "Decision aids for alternative techniques in urban storm management". *Water Science and Technology*. **32**(1), 41-48.
- Baptista, M. B. (1990). *Contribution à l'Étude de la Propagation de Crues em Hydrologie*. Tese de Doutorado, École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, França.
- Baptista, M. B. (2004). "Sistemas de auxílio à decisão em drenagem urbana". *Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste*, meio ótico em CD, Goiânia, Brasil.
- Baptista, M. B. e Nascimento, N.O. (1996). "Sustainable development and urban stormwater management in the context of tropical developing countries". *XXV Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental (Conference interamericaine de génie sanitaire et evironnement)*, vol. **IV**, pp. **523 - 529**, AIDIS, México.
- Baptista, M. B. e von Sperling, M. (2007). "Morfologia fluvial". In: von Sperling, M. *Estudos e Modelagem da Qualidade da Água em Rios*. Editora UFMG, Horizonte, Brasil, 588p.
- Baptista, M., Barraud, S. e Alfakih, E. (2001). "Analyse de données pour l'élaboration d'indicateurs technico-économique de systèmes alternatifs en assainissement pluvial". *Anais da NOVATECH*, Paris, França.
- Baptista, M. B., Nascimento, N. O. e Barraud, S. (2005). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 266p.

- Barbosa, P. S. F. (1997) “O Emprego da Análise Multiobjetivo no Gerenciamento dos Recursos Hídricos Brasileiros”. *A Água em Revista*, vol. **8** (2), 42-46.
- Barraud, S. (2001).” Indicateurs de performance de stratégies d’assainissement pluvial par infiltration: analyse critique”. *Fiche Technique Othu no. 9*. Insa. Lyon, França.
- Barraud, S., Azzout, Y. Cres, F. N. e Chocat, B. (1999). “Selection aid of alternative techniques in urban storm drainage – proposition of an expert system”. *Water Science Technology*, 39 (**4**) 241-248.
- Barrera-Roldán, A. e Saldívar-Valdés, A. (2002). “Proposal and application of a sustainable development index” *Ecological Indicators*, vol. **2**, 251-256.
- Batista, M. E. M., Lima, E. R. V. e Silva, T.C. (2005). “Indicador de performance de sistemas de drenagem urbana por vias, setores censitários e bairros”. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, meio ótico em CD. João Pessoa, Brasil.
- Bertoni, J.C, Maza, J.A. e Paoli, C.U. (2003) “Argentina”. In: Tucci, C.E.M., Bertoni, J.C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 471p.
- Berz, G. (2000). “Flood Disasters: Lessons from the Past – Worries for the Future”. *Water & Maritime Engineering*, v.**142**, 3-8.
- Bourget, P. G. (2001) “Collective Capacity: Regional Information Sharing in Support of Floodplain Management”. *Non-Structural Measures for Water Management Problems International Workshop*, Ontario, Canadá.
- Braga, B. e Gobetti, L. (1997). “Análise Multiobjetivo”. In: Porto, R. L. L. *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 420p.
- Brandt, S. A. (2000). “Prediction of downstream geomorphological changes after dam construction: a stream power approach. *Water Resources Development*, vol. 16, **n. 3** 343-367.
- Brito, D. S. (2006). *Metodologia para Seleção de Alternativas de Sistemas de Drenagem*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Brasília, Brasil.
- Câmara, G. (2005). “Representação computacional de dados geográficos”. In: Casanova, M., Câmara, G. Davis, C. Vinhas, L., Queiroz, G. *Banco de Dados Geográficos*. Ed. Curitiba: Mundo GEO, Curitiba, Brasil.
- Câmara, G. e Monteiro, A. M. V. (2009). Disponível em

<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/> consulta em 06/06/2009.

- Cardoso, A. S. (2008). *Desenvolvimento de Metodologia para Avaliação de Alternativas de Intervenção em Cursos de Água em Áreas Urbanas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Brasil.
- Cardoso, A. S. e Baptista, M. B. (2008). “Multicriteria evaluation of interventions in water courses in urban áreas”. *Anais 11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgo, Escócia.
- Castro, L. M. A. (2002). *Proposição de Indicadores para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Brasil.
- Castro, L. M. A. (2007). *Proposição de Metodologia para a Avaliação da Sustentabilidade do Desenvolvimento Urbano quanto às Alterações Provocadas nos Corpos de Água*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Brasil.
- Certu. (Centre d'études sur les reseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques). (1998). *Techniques Alternatives aux Reseaux d'Assainissement Pluvial: Éléments Clés pour leur Mise en Oeuvre*. Edition du Certu. Lyon, França. 155p.
- CETE du Sud-Ouest (2002). *Les Solutions Compensatoires en Assainissement Pluvial – Le Choix et Quelques Principes de Conception et de Realisation des Techniques – Fascicule III*. Disponível em www.languedoc-roussillon.environnement.gouv.fr.
- Chebbo, G. (1992) *Solides des Rejets Pluviaux Urbains Caractérisation et Traitabilité*. Tese de Doutorado. École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, França.
- Chocat, B. (1997). *Encyclopédie de l'Hydrologie Urbaine et de l'Assainissement*. Technique et Documentation Lavousier, Paris, França, 1124p.
- COPASA (2001). *Atualização dos Estudos e Elaboração do Projeto Básico das Obras de Defesa Contra Inundações na Bacia do Rio Sapucaí Estado de Minas Gerais - Relatório n.º 5 - Estudos Ambientais Preliminares*. Belo Horizonte, Brasil, 341p.
- Couvert, B.; Lefort, P.; Peiry, J.-L. and Belleudy, P. (1999). *La Gestion des Rivières Transport Solide et Atterrissements Guide Méthodologique*. Paris, França. 92 p.
- Daywater (2003). *Review of the Use of Stormwater BMPs in Europe*. Disponível em: www.daywater.org.
- Daywater (2004). *DayWater Project Report 'Review of decision support tools in USWM'*.

Disponível em: www.daywater.org.

- De Bonis, A., Mascarenhas, F. C. B. e Miguez, M. G. (2005) “Estabelecimento de um índice de drenagem urbana para definição da criticidade do problema de cheia urbana”. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa, Brasil.
- Dechesne, M., Barraud, S. e Bardin, J-P. (2004). “Indicators for hydraulic and pollution retention assessment of stormwater infiltration basins” *Journal of Environmental Management*, vol. 71, 371-380.
- Dégardin, F. e Gaide, P. A. (1999). *Valorizer les Zones Inondables dans l’Aménagement Urbain Repères pour une Nouvelle Démarche*. Dossier Eau et Aménagement, Collection Dossiers, Ministère de l’Aménagement du Territoire et de l’Environnement, Centre d’Études sur le Réseaux, les Transports, l’Urbanisme et les Constructions Publiques(Certu), Paris, França, 231p.
- Degoutte, G. (2001) *Hydraulique et Dynamique Fluviale*. ENGREF, Paris, França, 128 p.
- Demortier, G. e Goetghebeuer, P. (1996). *Outil d’Evaluation de la Qualité du Milieu Physique des Cours d’Eau Test sur la Meurthe et le Rupt-de-Mad Tome 1*. Agence de l’Eau Rhin-Meuse, França. 131 p
- Domecq, R.M., Perito, A., Chamorro, L., Ávila, J.L. e Báez, J. (2003) “Paraguay”. In: Tucci, C.E.M., Bertoni, J.C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 471p.
- Dutta, D., Herath, S. e Musiake, K. (2001). “Direct flood damage modeling towards urban flood risk management”. *Workshop on Urban Safety Engineering*. Tailândia.
- Dutta, D., Herath, S. e Musiake, K. (2003). “A mathematical model for flood loss estimation”. *Journal of Hydrology*, vol. 277, 24-49.
- Föster, M., Thévenot, D., Geldof, G., Svensson, G., Mikkelsen, P.-S., Revitt, M., Aftias, E., Krejcik, J., Sieker, H., Legret, M. e Viklander, M. (2004). “Support Decision-Making Stormwater Source Control Strategies within European Countries”. *Proceedings of the 4th International Conference on Decision Making in Urban and Civil Engineering*. Porto, Portugal.
- Figueiredo Júnior, M. O., Baptista, M. B. e Nascimento, N. O. (2008). “Avaliação de empreendimentos de desenvolvimento urbano à luz dos impactos ambientais e nos sistemas de águas urbanas”. *Anais do XXXI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS*. Santiago, Chile.

- FJP – Fundação João Pinheiro (2009). *Atlas o Desenvolvimento Humano no Brasil*. Meio eletrônico.
- França, C. L. L. T. e Silva, E. R. (2008). *Comunicação Pessoal*.
- Fread, D. L. (1992) “Flow Routing”. In: Maidment, D. R. *Handbook of Hydrology*. McGraw Hill, U.S.A.
- Gallopín, G. C. (1997). “Indicators and their use: information for decision-making – part one - introduction”. In: Moldan, B, e Bilharz, S. *Sustainability Indicators*. Disponível em: www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope58, consulta em 07/04/2006.
- Garcia, J. I. B. e Paiva, E. M. C. (2005). “Análise das áreas de risco de inundações para cenários futuros em uma bacia urbana”. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, meio ótico em CD. João Pessoa, Brasil.
- Garry, G., Graszka, E., Hubert, T. e Guyot, T. (1999). *Plans de Prévention des Risques Naturels (PPR) Risque d’Inondation Guide Méthodologique*. La documentation Française, Ministère de l’Aménagement du Territoire et de l’Environnement, Ministère de l’Équipement des Transports et du Logement, Paris, França, 123p.
- Geerse, J. M. U. e Lobbrecht, A. H. (2002). “Assessing the performance of urban drainage systems: ‘general approach’ applied to the city of Rotterdam.” *Urban Water*, vol. 4 , 199-209.
- Genta, J.L. e Teixeira, L. (2003). “Peru”. In: Tucci, C.E.M. e Bertoni, J.C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 471p.
- Gilpin, A. (1995). *Environmental Impact Assessment – Cutting Edge for the Twenty-First Century*. Cambridge University Press.
- Goicoechea, A., Hansen, D. R. e Duckstein, L. (1982). *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*. John Wiley & Sons, New York, E.U.A.
- Gomes, L. F. A. M., Araya, M. C. G. e Carignano, C. (2004). *Tomada de Decisões em Cenários Complexos*. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, Brasil, 168p.
- Gomes, L. F. M., Gomes, C. F. S. e Almeida, A. T. (2002). *Tomada de Decisão Gerencial*. Editora Atlas, São Paulo, Brasil, 264p.
- GRAIE e Agence de l’Eau RMC (1999). *La Gestion Intégrée des Rivières*. CD-ROM. França.
- Grelot, F. (2004). *Gestion Collective des Inondations Peut-On Tenir Compte de L’Avis de la Population dans la Phase d’Évaluation Économique a Priori?*. Tese de

- Doutorado, L'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Centre de Paris, École Doctorale de l'Ensam, França.
- GVSD - Greater Vancouver Sewerage & Drainage District (2004). *Stormwater Source Control: Preliminary Design Guidelines*. Disponível em <http://www.gvrd.bc.ca>.
- Hanley, N. e Spash, C. L. (1993). *Cost-Benefit Analysis and the Environment*. Edward Elgar Publishing, Reino Unido, 278p.
- Harada, A. L. (1999). *Metodologias para a Seleção de Soluções de Coleta, Tratamento e Disposição de Esgotos em Condomínios do Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Brasília, Brasil.
- Harada, A. L. e Cordeiro Netto, O. M. (1999). *Métodos Multicritério de Auxílio à Decisão*. Texto de Disciplinas, Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.
- Holder, A. W., Stewart, E. J. e Bedient, P. B (2002). "Modeling an urban drainage system with large tailwater effects under extreme rainfall conditions". *Global Solution for Urban Drainage*, meio ótico em CD.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008). "Cidades @". Disponível em www.ibge.gov.br.
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas (1999). *Bases Técnicas para a Montagem da Rede Telemétrica, Previsão em Tempo Real e Zoneamento da Planície de Inundação*. Belo Horizonte, Brasil..
- Johnson, L. E. (2008). *Geographic Information Systems in Water Resources Engineering*. Taylor and Francis, Estados Unidos, 298p.
- Kolsky, P. e Butler, D. (2002). "Performance indicators for urban storm drainage in developing countries". *Urban Water*, vol. 4, 137-144.
- Kondratyev, S., Gronskaya, T., Ignatieva, N., Blinova, I., Telesh, I. e Yefremova, L. (2002). "Assessment of present state of water resources of Lake Ladoga and its drainage basin using Sustainable Development indicators" *Ecological Indicators*, vol. 2, 70-92.
- König, A., Saegrov, S. e Shilling, W. (2002). "Damage Assessment for Urban Flooding". *Global Solution for Urban Drainage*, meio ótico em CD.
- KRIS (2007). *Channel Morphology and Stream Processes*. Disponível em <<http://www.krisweb.com/hydrol/channel.htm>> . Acesso em: 12 setembro 2007

- Kundzewicz, Z.W. (2001) “Non-structural Flood Protection and Sustainability”. *Non-Structural Measures for Water Management Problems International Workshop*, Ontario, Canadá.
- Kundzewicz, Z.W. e Jun, X. (2004) “Flood preparedness system in China”. *Hydrological Sciences Journal*, vol. **49** (6), Disponível em: www.cig.ensmp.fr/~iahs/hsj/496/49600.htm, consulta em 28/01/2005.
- Lanna, A. E. (2001). *Economia dos Recursos Hídricos*. Notas de aula do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Brasil.
- Le Gauffre, P.; Joannis, C.; Breyse, D.; Gibello, C. and Desmulliez, J. J. (2004). *Gestion Patrimoniale des Réseaux d’Assainissement Urbains. Guide Méthodologique*. Lavoisier Tec&Doc, Paris , França. 416 p.
- Lima, J. C. (2003). *Avaliação dos Riscos e Danos de Inundação e do Impacto da Adoção de Medidas Não-Estruturais em Itajubá/MG*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Brasil.
- Lima-Queiroz, J. C., Baptista, M.B., Nascimento, N.O. e Silva, A.G. (2003). “Avaliação do risco de inundação em Itajubá através do Método Inondabilité”. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, meio ótico em CD. Curitiba, Brasil.
- Machado, M. L. (2005). *Curvas de Danos de Inundação Versus Profundidade de Submersão: Desenvolvimento de Metodologia – Estudo de Caso Bacia do Rio Sapucaí, Itajubá - MG*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Brasil.
- Machado, M.L., Cruz, M.D., Nascimento, N.O., Baptista, M.B. e Silva, A.P. (2004). “Curvas de Danos de Inundação Versus Profundidade de Submersão: Desenvolvimento de Metodologia”. *Anais do I Seminário Latino-Americano de Políticas Públicas*, meio ótico em CD. Brasília, Brasil.
- Martin, C., Ruperd, Y. e Legret, M. (2006). “Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices” *European Journal of Operational Research*, no prelo.
- Ministério da Saúde (2004). *Relatório das Ações de Resposta às Enchentes Ocorridas no Verão de 2004*. www.saude.gov.br.
- Moffat e Nichol (2005). *Hydrodynamic Modeling Tools and Techniques*. Disponível em:

www.southbayrestoration.org/pdf_files/Modeling_Report-Full-Jan2005.pdf consulta em 21/03/2007.

- Moldan, B. (1997). “Box 1F – Decision-Making Cycle”. In: Moldan, B, e Bilharz, S. *Sustainability Indicators*. Disponível em: www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope58, consulta em 07/04/2006.
- Moni Silva, A. P. (2006). *Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Itajubá, Utilizando SIG*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Departamento de Engenharia da Energia, Itajubá, Brasil.
- Mota, T. (2009). *Comunicação Pessoal*.
- Moura, P. M. (2004). *Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Brasil.
- Moura, P. M. (2008). *Méthode d'Évaluation des Performances des Systèmes d'Infiltration des Eaux de Ruissellement en Milieu Urbain*. Tese de Doutorado, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Lyon, França.
- Moura, M. M. (2009). *Comunicação Pessoal*.
- Myers, D. R., Maimone, M., Smullen, J. e Marengo, B. (2004). “Simulation of urban wet weather best management practices at the watershed scale”. In: *Innovative Modeling of Urban Systems*, **Monograph 12**, 237-256.
- Nascimento Júnior, J. A. (1999). *Relação Entre a Disposição dos Resíduos Sólidos e a Proliferação do Aedes aegypti: Um Estudo Epidemiológico*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Nascimento, N. O., Baptista, M. B. e Souza, V. C. B. (1997). “Sistema “HIDROURB” para o Pré-Dimensionamento de Soluções Compensatórias em Drenagem Urbana”. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, meio ótico em CD. Vitória, Brasil.
- Nascimento, N., Eleutério, J. e Vale, V. L. (2008). *Plano de Contingência de Inundações de Betim: Informações Hidrológicas*. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. Belo Horizonte, Brasil.
- New South Wales Government (2005). *Floodplain Development Manual – The Management of Flood Liable Land*. Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources, Austrália. Disponível em: www.dipnr.nsw.gov.au .
- Norotte, O.; Gaide, P.-A.; Noyelle, J., Thomazeau, R. (1998) *Ruissellement Urbain et POS Approche et Prise en Compte des Risques*. CERTU, Lyon. 100 p.

- NZIR (2004). *Economic Impacts on New Zealand of Climate Change-Related Extreme Events, Focus on Freshwater Flood - Report on New Zealand Climate Change Office*. Disponível em: www.nzier.org.nz.
- OCDE (1996). *Évaluer les Dommages a L'Environnement – Um Guide Pratique*. IDE/OCDE/ODI, Paris, França, 198p.
- OECD (2003). *Environmental Indicators – Development, Measurement and Use*. Disponível em www.oecd.org.
- Oliveira, P. S. (2009). *Comunicação Pessoal*.
- Parker, D. J., Green, C. H. e Thompson, P. M. (1987). *Urban Flood Protection Benefits: A Project Appraisal Guide*. Gower Technical Press, Aldershot, Royaume-Uni, Inglaterra, 284p.
- Parkinson, J. (2004). “Os Fatores Sócio-econômicos que Afetam as Estratégias para Controle de Enchentes Urbanas”. *Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste*, meio ótico em CD. Goiânia, Brasil.
- Parkinson, J. e Mark, O. (2005) *Urban Stormwater Management in Developing Countries*: IWA Publishing, Londres, Inglaterra. 218 p.
- Penning-Rowsell, E. C. e Chatterton, J. B. (1977). *The Benefits of Flood Aleviation: A Manual of Assessment Techniques*. Gower Technical Press, Aldershot, Royaume-Uni, Inglaterra, 297p.
- Pinheiro, M. V. (2005). *Avaliação Técnica e Histórica das Enchentes em Itajubá – MG*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Departamento de Engenharia da Energia, Itajubá, Brasil
- Plate, E. J. (2002). “Flood risk and flood management”. *Journal of Hydrology*, **267**, 2-11.
- Pomerol, J. C.; Barba-Romero, S. (1993). *Choix multicritère dans l'entreprise: principe et pratique*. Hermes, Paris, França. 390p.
- Przedwojski, B., Błażejowski, R. e Pilarczyk, K. W. (1995). *River Training Techniques – Fundamentals, Design and Applications*. Ed. Balkema, Rotterdam, Holanda, 625p.
- Rebillard, J.-P. (2001) “Le SEQ-PHYSIQUE”. *Revue de l'agence de l'eau Adour Garonne.*, n. 81, pp. 12-15, hiver. Toulouse, França.
- Revitt, D. M., Ellis, J. B. e Scholes, L (2003). “Criteria relevant to the assessment of BMP performance”. *Adaptive Decision Support System (ADSS) for the Integration of Stormwater Source Control into Sustainable Urban Water Management Strategies*, DayWater, Reino Unido. Disponível em: www.daywater.org .

- Reyes, J. (2003) “Peru”. In: Tucci, C.E.M. e Bertoni, J.C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 471p.
- Roy, B. (1985). *Methodologie Multicritère d’Aide à La Décision*. Ed. Économica, Paris, França.
- Salgado, J. C. M (1995). *Avaliação Econômica de Projetos de Drenagem e de Controle de Inundações em Bacias Urbanas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, Brasil.
- Sande, C.J.V.D., Jong, S.,M. e De Roo, A.P.J. (2003). “A Segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment”. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. **4**, 217-229.
- Sands, R. J., Chang, C. C. e McDonald, J. M. (2002). “Storm Water Management Study After Flooding of the South Bronx, NYC, New York”. *Global Solution for Urban Drainage*, meio ótico em CD.
- Scarwell, H.-J. e Laganier, R. (2004). *Risque d’Inondation et Aménagement Durables des Territoires*. Presses Universitaires du Septentrion, Villeneuve d’Ascq, França.
- Smith, K. (2000). *Environmental Hazards – Assessing Risk and Reducing Disaster*. Ed. Routledge, Londres, Inglaterra. 392 p.
- Souza, C.M.N. (2001). *Carência ou Precariedade dos Serviços de Drenagem Urbana e Ocorrência de Doenças de Importância para a Saúde Pública – Contribuição ao Estabelecimento de Modelo Causal*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital) (2000). *Caderno de Encargos de Infra-Estrutura Urbana*. Prefeitura de Belo Horizonte, Belo Horizonte, Brasil.
- Teles, L. S. M. (2009). *Comunicação Pessoal*.
- Teles, L. S. M. e Ferreira, J. L. (2009). *Comunicação Pessoal*.
- Thampapillai, D.J. e Musgrave, W.F.(1985). “Flood damage mitigation: a review of structural and nonstructural measures and alternative decision frameworks.” *Water Resources Research*, vol. **21** n.(4), 411-424.
- Terrazas, L.E.M. e Seleme, M. E. (2003) “Bolívia”. In: Tucci, C.E.M., Bertoni, J.C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. ABRH, Editora da Universidade Federal do

- rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 471p.
- Timbó, M. A. (2001). *Elementos de Cartografia*. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil, 57p.
- Torterotot, J. P. (1993). *Le Coût des Dommages Dus Aux Inondations: Estimation et Analyse des Incertitudes*. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, França.
- Tucci, C.E.M. (1997). “Controle de enchentes”. In: Tucci, C.E.M. *Hidrologia Ciência e Aplicação*. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 943p.
- Tucci, C.E.M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 669p.
- Tucci, C.E.M e Genz, F. (1995). “Controle do impacto da urbanização”. In: Tucci, C.E.M., Tozzi, M, Porto, R.L.L., Barros, M.T. *Drenagem Urbana*. ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 428p.
- Tucci, C.E.M., Hespanhol, I. e Cordeiro Netto, O.M. (2003). “Cenários da gestão da água no Brasil: Uma Contribuição Para a “Visão Mundial da Água””. *Bahia Análise e Dados*, vol. **13** n.especial, 357-370.
- UDFCD - Urban Drainage and Flood Control District (2002). *Drainage Criteria Manual Vol.3*.
- Urbonas, B. e Stahre, P. (1993). *Stormwater Best Management Practices and Detention for Water Quality, Drainage, and CSO Management*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, E.U.A. 441p.
- USACE (1995). *Hydrologic Engineering Requirements for Flood Damage Reduction Studies*. Disponível em www.usace.army.mil.
- USACE (2004). *Basin-Level Digital Elevation Models Availability and Applications – The red River of the North basin study Case Study*. IWR Report 04-R-1. Disponível em www.usace.army.mil
- Vianna, A. P. P. (2000). *Utilização de Modelagens Hidrológica e Hidráulica Associadas a um Sistema de Informações Geográficas para Mapeamento de Áreas Inundáveis. Estudo de Caso: Município de Itajubá - MG*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.
- Vieira, V. P. P. B. (2005). *Análise de Risco em Recursos Hídricos – Fundamentos e Aplicações*. Coleção ABRH, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

Porto Alegre, Brasil, 372p.

Vieira Sobrinho, J. D. (1986). *Matemática Financeira*. Editora Atlas, São Paulo, Brasil.

Viesman, Jr., W. e Lewis, G. L. (2002). *Introduction to Hydrology*. Prentice Hall, Pearson Education Inc. Upper Saddle River, New Jersey, E.U.A, 612p.

Wen, K.C. e Huang, T.H. (2003). “The 3D simulation information system for assessing the flood lost in Keelung river basin”. *AsiaGIS Conference – Wuhan Stific and Technological Exhibition Centre*, Wuhan, China.

Zonensein, J. (2007). Índice de Risco de Cheia como Ferramenta de Gestão de Enchentes. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, Brasil.

**ANEXO A – CRITÉRIOS DE ESCOLHA DE TÉCNICAS
COMPENSATÓRIAS**

Tabela A1 - Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas
(Baptista *et al.*, 2005)

Técnica	Restrições à implantação e operação das técnicas					
	Permeabilidade do solo	Declividade	Proximidade do lençol	Proximidade do leito rochoso	Restrições ao uso do solo	Aporte de sólidos
Bacia de detenção	+	+	+	++	+++	++
Bacia de infiltração	+++	+	+++	+++	+++	+++
Valas e valetas de detenção	+	++	+	++	++	++
Valas e valetas de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+++
Pavimentos porosos	++	+++	++	+	+	+++
Revestimentos permeáveis	++	+++	++	+	+	+++
Trincheiras de detenção	+	++	++	++	++	+
Trincheiras de infiltração	+++	+++	+++	+++	++	+
Poços de infiltração	+++	+	+++	+++	+	+
Telhados armazenadores	+	+	+	+	+	+
Reservatórios individuais	+	+	++	++	+	+

+++ : grande importância; ++ : média ou possível importância; + : importância pequena ou nula

Tabela A2 – Lista de critérios seletivos (Azzout *et al.*, 1995 e Barraud *et al.*, 1999)

Critério	Classe de limitação	Incidência da classe de limitação
Comportamento do solo na presença de água	Ruim	Uso de técnicas de detenção
Vulnerabilidade da água subterrânea à água de chuva	Sim	Uso de técnicas de detenção
Capacidade de absorção na superfície do solo	Ruim ($<10^{-7}$ m/s)	Uso de técnicas de detenção
Capacidade de absorção do solo abaixo da superfície	Ruim ($<10^{-7}$ m/s)	Uso de técnicas de detenção
Alto nível da água do lençol freático	Aproximando-se ao nível do solo	Uso de técnicas de detenção; uso de poços de injeção e bacias molhadas
Risco de águas poluídas	Médio	Uso de dispositivos de tratamento
	Alto	Uso de técnicas de detenção e de dispositivos de tratamento
Capacidade de condução	Ruim	Impossível usar superfície permeável para infiltração ou técnicas lineares para drenagem de pavimentos
Saída permanente	Não	Problemas para drenar a área usando técnicas de detenção
Disponibilidade de espaço (ao lado de um pavimento, estacionamento ou edifício)	Não	Impossível utilizar técnicas que requerem uma área mais larga que a área a ser drenada
Risco de água com silte	Sim	Necessidade de dispositivos de tratamento e uso de revestimento à prova d'água impermeável
Tipo de tráfego	Pesado	Uso de revestimento impermeável para pavimentos permeáveis
Presença de forças cortantes	Sim	Uso de revestimento impermeável para pavimentos permeáveis
Clima de montanha	Sim	Uso de revestimento impermeável para pavimentos permeáveis, não telhado armazenador
Declividade local (parte a ser drenada, possível disponibilidade de espaço)	Leve a íngreme	Instalação de partições
Chegada contínua de água	Não	Bacias de retenção não podem ser usadas
Baixo nível da água do lençol freático	Não se aproxima do nível do solo	Bacias de retenção não podem ser usadas
Excessiva declividade do telhado	Média ($<5\%$)	Instalação de partições no telhado
	Excessiva ($>5\%$)	Não pode ser usado telhado armazenador
Edifício adequado ao armazenamento	Não	Não pode ser usado telhado armazenador

Tabela A3 - Vantagens e inconvenientes das medidas compensatórias

Técnica	Vantagens	Inconvenientes
Bacias de Detenção	<ul style="list-style-type: none"> • Efeito paisagístico com a criação de zonas verdes em meio urbano (Certu, 1998); • As bacias molhadas podem estar ligadas ao lazer e atividades náuticas (Certu, 1998); • Uso múltiplo das bacias com utilização das águas pluviais para outros fins (irrigação de jardins, lavagem de pisos, etc.), em bacias de pequeno porte construídas em lotes urbanos (GVSD, 2004); • As bacias secas podem ser arborizadas, instaladas em espaços verdes inundáveis; • Técnica antiga com aplicação bem conhecida (Certu, 1998); • Nas bacias com infiltração há a recarga do lençol, a dispensa de tubulação de descarga e exutório a jusante (Certu, 1998); • Em períodos secos, as bacias secas podem ser utilizadas para outras finalidades, tais como a prática de esportes (vôlei, futebol, e outros) (UDFCD, 2002); • As bacias de infiltração secas são eficientes na redução do pico da cheia, na melhoria da qualidade da água e na remoção de matéria particulada (UDFCD, 2002); 	<ul style="list-style-type: none"> • Bacias alagadas - risco à segurança da população ribeirinha (Certu, 1998); • Necessidade de grandes áreas (Certu, 1998); • Poluição do lençol freático pelas bacias com infiltração (Certu, 1998); • Eventuais aborrecimentos por ocasião da estagnação das águas (Certu, 1998).
Telhados Armazenadores	<ul style="list-style-type: none"> • Armazenamento imediato e temporário para uma parcela (Certu, 1998); • Não consome espaço no solo (Certu, 1998); • Boa integração estética a todos os tipos de habitações (Certu, 1998); • Sua execução não necessita de técnica particular em relação às coberturas tradicionais (Certu, 1998); • Seu processo de armazenamento não acarreta sobrecusto em relação às coberturas tradicionais (Certu, 1998); • Redução dos níveis de calor no interior dos edifícios; • Filtração e remoção de partículas finas do ar (Peck e Kuhn, 2001 <i>apud</i> GVSD, 2004); • Aumento da vida útil de coberturas convencionais (GVSD, 2004) 	<ul style="list-style-type: none"> • Em obras já existentes, há a necessidade de verificação da estabilidade das estruturas; • Há necessidade de cuidados na aplicação do material para garantia da estanqueidade.
Pavimentos com estrutura de reservação	<ul style="list-style-type: none"> • Inserção no meio urbano sem necessidade de espaço suplementar (Certu, 1998); • Redução dos ruídos pela circulação de veículos (Certu, 1998); • Melhoria no conforto dos usuários pela redução das poças d'água, do reflexo dos faróis, e da visibilidade da sinalização horizontal (Certu, 1998); • Melhoria na aderência e redução do risco de aquaplanagem (Certu, 1998); • Melhoria da água do escoamento devido à redução dos poluentes por decantação (Certu, 1998); • Alimentação do lençol freático (Azzout, 1994); • Efeito estético pela combinação de cores e padrões dos blocos (UDFCD, 2002); • Pode ser utilizado livre de drenagem do subsolo (UDFCD, 2002); 	<ul style="list-style-type: none"> • A utilização de material poroso na superfície apresenta o risco de colmatação (Certu, 1998); • Necessidade de manutenção regular (Azzout, 1994); • Estrutura tributária de obstrução do subsolo (Azzout, 1994); • Sensibilidade ao gelo (Azzout, 1994); • Custos de manutenção e restauração elevado (Azzout, 1994 e UDFCD, 2002); • Risco de poluição do lençol freático (Certu, 1998).
Trincheiras de infiltração e retenção	<ul style="list-style-type: none"> • Essa técnica se insere em meio urbano e ocupa pouco espaço (Certu, 1998); • Possui boa integração com o tecido urbano em função das diversas formas que ela pode assumir e à diversidade de materiais para composição da sua superfície (Certu, 1998); • É uma técnica antiga, de fácil execução (Certu, 1998); • Sua aplicação dispensa a utilização de sistemas clássicos de drenagem (Certu, 1998); • Os custos de implantação são reduzidos (Azzout, 1994); • Não necessita de um exutório (Azzout, 1994); • Permite a alimentação do lençol freático (Azzout, 1994); 	<ul style="list-style-type: none"> • Há o risco de poluição do lençol freático e de colmatação (Certu, 1998); • Necessidade de manutenção regular (Azzout, 1994); • Limitação no caso de declividade forte (Azzout, 1994);

Tabela A3 - Vantagens e inconvenientes das medidas compensatórias

Técnica	Vantagens	Inconvenientes
Valas de Infiltração e Armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> • Essa técnica assegura em um único sistema, as funções de retenção e regulação da vazão a jusante (Certu, 1998); • Permite a delimitação de espaços (Azzout, 1994); • Pode ser inserida na criação de uma paisagem vegetal e de espaços verdes (Certu, 1998); • Suas margens podem ter usos múltiplos para lazer (Certu, 1998); • Pode ser executado por fases segundo as necessidades de armazenamento, evoluindo de acordo com o desenvolvimento da área (Certu, 1998); • É uma solução de baixo custo (Certu, 1998); • É desnecessária a colocação de coletores e reduz as dimensões da rede de drenagem clássica (Certu, 1998); • Favorece a decantação e filtração das águas (Certu, 1998); • Favorece a alimentação do lençol freático (Certu, 1998). 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de manutenção regular (Azzout, 1994); • Inconvenientes relacionados à estagnação da água (Certu, 1998); • A utilização dos dispositivos sem a introdução de condutos pode ocasionar encharcamentos, ser fonte de odores indesejáveis e criação de mosquitos (Certu, 1998 e UDFCD, 2002); • Possibilidade de colmatação (Azzout, 1994);; • Risco de acidente em período de enchimento (Azzout, 1994); • Risco de poluição do lençol freático (Azzout, 1994); • Risco de poluição do lençol freático (Azzout, 1994); • Risco de colmatação (Azzout, 1994);
Poços de Infiltração	<ul style="list-style-type: none"> • Concepção simples (Certu, 1998); • Pode ser utilizado à escala de uma simples parcela até a espaços coletivos (Certu, 1998); • Bem adaptado em terrenos planos onde a drenagem é difícil de ser executada (Certu, 1998); • É uma técnica pouco onerosa (Certu, 1998); • Demanda pouca manutenção (Certu, 1998); • Se adapta a todos os tipos de uso, com exceção dos usos industriais ou aqueles que apresentem presença de finos (Certu, 1998); • É uma técnica que se integra ao tecido urbano e é quase imperceptível (Certu, 1998); • A área onde a medida é implantada pode ser utilizada para outros fins tais como lazer (Certu, 1998); • Complementa as outras técnicas (Certu, 1998); • Permite acessar camadas mais profundas do solo quando a camada superficial é impermeável sem limitações da topografia (Certu, 1998); • Redução dos volumes de escoamento e das dimensões da rede de drenagem clássica (Certu, 1998); • Alimentação do lençol freático e indiretamente dos níveis de estiagem dos rios (Certu, 1998); • A passagem da água pelo meio poroso assegura a filtração de material em suspensão e uma depuração bacteriológica (Certu, 1998); • Não necessita de exutório (Azzout, 1994) 	

Tabela A4 – Características necessárias à inserção das técnicas compensatórias

Técnica	Característica
Bacias úmidas	<ul style="list-style-type: none"> • Para satisfazer aos usos secundários ligados às atividades aquáticas de lazer, deve-se garantir água de boa qualidade. Recomenda-se, nesse caso a utilização de uma rede separadora (Certu, 1998); • Deve ser prevista a alimentação da bacia durante os períodos de seca (Certu, 1998); • Evitar a poluição por águas pluviais contendo metais pesados e matéria orgânica, rejeitos industriais e particulares (Certu, 1998);
Bacias secas	<ul style="list-style-type: none"> • Prever frequência de utilização, duração e altura de submersão pequenas (Certu, 1998); • Prever sistema de drenagem para evacuar as águas provenientes do lençol freático e manter a capacidade mínima de armazenamento da bacia (Certu, 1998);
Todos os tipos de bacia	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar sua contaminação por resíduos (Certu, 1998); • Gestão rigorosa (Certu, 1998); • Prever o uso secundário da bacia para obrigar a sua manutenção (Certu, 1998); • Limitar os riscos de poluição do lençol pela infiltração utilizando, quando necessário, sistemas de pré-tratamento (Certu, 1998).
Bacias de infiltração	<ul style="list-style-type: none"> • Devem ter de 0,5 a 3,0m de profundidade (Daywater, 2003); • A base deve estar todo o tempo acima do nível do lençol freático (Daywater, 2003); • São bem ajustadas a solos com taxas de infiltração acima de 15mm/h (Daywater, 2003); • Para a remoção de sólidos totais, taxa de infiltração necessária de 5m³/ha/m² (Daywater, 2003); • A retenção de poluentes deve ocorrer nos primeiros 30cm (Daywater, 2003); • Área requerida de 0,5 a 2,0% da área de contribuição (UDFCD, 2002)
Bacias de retenção	<ul style="list-style-type: none"> • Análise do balanço da água para assegurar um risco de transbordamento aceitável e um fluxo de base maior que as taxas de evaporação e infiltração (Daywater, 2003); • Profundidade da água de 1,2 a 3,5m (UDFCD, 1999; Persson, 1999 e Larm, 1994 <i>apud</i> Daywater, 2003 • Declividade das paredes: mínimo 1:2(vertical/horizontal) para solos estáveis; 1:3 ou 1:4 para solos no que diz respeito à segurança, manutenção e remoção de poluentes; 1:5 – 1:10 preferível (necessidade de grande área) (UDFCD, 1999; Persson, 1999; SNRA, 1998; SEPA, 1997; Hvitved-Jacobsen <i>et al</i>, 1994 e Larm, 1994 <i>apud</i> Daywater, 2003) • Comprimento/largura: 2:1 a 3:1 (UDFCD, 2002); • Área mínima absoluta: 160m² (mínimo 8m de largura x 20m de comprimento) (Fransson e Larm, 2000 <i>apud</i> Daywater, 2003); • Área de drenagem: 10 a 100 ha (Lönnngren, 1995 e Schueler, 1987 <i>apud</i> Daywater, 2003) • Permeabilidade: taxa de infiltração menor que 10⁻⁹m/s (Fransson e Larm, 2000 e UDFCD, 1999 <i>apud</i> Daywater, 2003); • Escoadouro de emergência para chuvas de 25 – 100 anos de período de retorno e barragem dimensionada para 100 anos ou mais de período de retorno (UDFCD <i>apud</i> Daywater, 2003);
Trincheiras de infiltração	<ul style="list-style-type: none"> • Aproximadamente 20% da área de drenagem (GVSD, 2004); • Permeabilidade do solo maior que 0,6mm/h (GVSD, 2004); • Declividade do terreno natural de 2 ou 3% (Certu, 1998); • Profundidade do lençol freático abaixo da base da trincheira preferencialmente de 1,0m (Azzout, 1994);
Valas gramadas (infiltração)	<ul style="list-style-type: none"> • Área da vala de aproximadamente 10-20% da área impermeável de contribuição (GVSD, 2004) • Declividade da base recomendada – menor que 5% com valor típico de 2% (Schwab e Frevert, 1985; SNRA, 1990 e Schueler, 1987 <i>apud</i> Daywater, 2003); • Largura da base entre 600 e 2400mm (GVSD, 2004); • Secção transversal triangular ou trapezoidal com declividade das paredes de 4:1 (horizontal/vertical) preferencialmente 5:1 (UDFCD, 2002);

Tabela A4 – Características necessárias à inserção das técnicas compensatórias

Técnica	Característica
	<ul style="list-style-type: none"> • Permeabilidade do solo subjacente de 12,7mm/h ou maior (Schueler, 1987 <i>apud</i> Daywater, 2003); • Taxa de infiltração saturada de 7,6mm/h e altura sazonal do nível da superfície do lençol freático maior que 1,2m abaixo da superfície de infiltração (Stahre e Urbonas, 1990 <i>apud</i> Daywater, 2003); • Identificação de fontes de poluição que requerem pré-tratamento; • Focando a remoção de poluentes: <ul style="list-style-type: none"> - Velocidade da água menor que 0,15m/s (Ferguson, 1998 <i>apud</i> Daywater, 2003) - Comprimento da vala de pelo menos 60m (Ferguson, 1998 <i>apud</i> Daywater, 2003) - Tempo de residência na vala de pelo menos 9 minutos (Ferguson, 1998 <i>apud</i> Daywater, 2003) • Valas gramadas devem ter no mínimo 75m de comprimento e no máximo 3% de declividade longitudinal (Yu <i>et al.</i>, 2001 <i>apud</i> Daywater, 2003)
Poço de infiltração	<ul style="list-style-type: none"> • Distância mínima entre a base do poço e o nível máximo do lençol freático de 1m (Azzout, 1994)/ 1,5m (Certu, 1998); • Composição da água a infiltrar, os usos da superfície drenadas e os usos do lençol freático devem ser verificadas (Certu, 1998); • A permeabilidade do solo deve ser superior a 10^{-6}m/s (Certu, 1998); • O poço não deve estar situado em perímetro de proteção de zonas de captação de água ((Certu, 1998);
Plano de infiltração	<ul style="list-style-type: none"> • Declividade uniforme capaz de manter uma lâmina de fluxo sem concentrar o escoamento em valas rasas (UDFCD, 2002); • Área de contribuição depende da largura e comprimento do plano, e do tipo de solo (solos dos grupos A e B têm melhores capacidades de infiltração e solos C e D fornecem melhor estabilidade local) (UDFCD, 2002); • Deve ser protegido de circulação excessiva de pedestres e veículos (UDFCD, 2002); • Vazão de 2 anos de período de retorno (UDFCD, 2002); • Declividade máxima na direção do fluxo de 4% (UDFCD, 2002).
Pavimento permeável	<ul style="list-style-type: none"> • Profundidade mínima do lençol freático abaixo da base de 600mm (Smith, 2001 <i>apud</i> GVSDD, 2004); • Permeabilidade do solo: de 10^{-5} a 10^{-3} m/s (certu, 1998); • Manter pelo menos 30m entre o pavimento permeável e poços de abastecimento (Smith, 2001 <i>apud</i> GVSDD, 2004); • Área de captação sobre o pavimento permeável menor que 2ha (Smith, 2001 <i>apud</i> GVSDD, 2004); • Razão máxima de 2:1 entre a superfície impermeável e a superfície permeável (Formpave, 2003 <i>apud</i> GVSDD, 2004); • Deve ser locado distante de fundações em solos expansivos
Telhado armazenador	<ul style="list-style-type: none"> • Declividade de 0,1 a 5% (Certu, 1998); • O telhado deve estar inacessível a pedestres e veículos (Certu, 1998); • É recomendável que não seja utilizado para a retenção de águas pluviais (Certu, 1998).

**ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE
INFRAESTRUTURA URBANA**

Tabela B.1 - Vulnerabilidade das redes de fornecimento de eletricidade à interrupção das inundações (adaptado de Parker *et al.*, 1987)

	Susceptibilidade Física	Dependência (do sistema fora da área de inundação)	Transferibilidade
Estações de Força	Geralmente baixa	Baixa	Geralmente fácil
Salas de controle	Não conhecida	Alta	Não conhecida
Estação de distribuição de 132kv	Baixa	Muito alta	Não conhecida
Estação de rebaixamento de 132/33kv	Variável pelo tipo de equipamento	Muito alta	Variável de acordo com a localização
Estação de rebaixamento de 33/11kv			Podem ser baixa
Estação de rebaixamento de 11kv/240 volts	Baixa	Alta Baixa	Variável pelo tipo de consumidor (ver tabela 4.4)
Caixas de ligação	Baixa	Muito baixa	
Linha de 132kv	Nula	Alta	Variável por localização
Linha de 33kv	Muito baixa	Média	Variável pelo tipo de consumidor (ver tabela 4.4)
Linha de 11kv	Muito baixa	Média	
Linha de 240/415 volts	Baixa	Baixa	

Tabela B.2 - Classes de fornecimento e níveis de segurança recomendados (adaptado de Parker *et al.*, 1987)

Classe de fornecimento	Classe de demanda do grupo (Megawatts)	Número mínimo de circuitos de fornecimento normalmente disponíveis	Demanda a ser encontrada imediatamente após		Alvo para a restauração da demanda total do grupo para a interrupção do circuito
			Suspensão do 1º circuito	Suspensão do 2º circuito	
1a	<1	1	nula	-	Tempo de reparo
1b	1-8	1	nula	-	2 horas
1c	8-24	1	nula	-	15 minutos
2a	24-80	2	Demanda do grupo	nula	Tempo de reparo para um circuito
2b	80-100	2		nulo	Tempo de reparo para um circuito para demanda total, mas 1/3 da demanda do grupo deve ser encontrada em 2 horas
3	>300	3	Demanda do grupo	Todos os consumidores até 75% da demanda	Tempo de reparo para um circuito

Algumas estimativas do número dos consumidores que constituem a demanda total em cada grupo podem ser feitas como segue:

Média de consumo por consumidor por ano (kwh):	
Doméstico	3900
Rural	13550
Industrial	410120
Todos	9570

Multiplicar por um fator de 1.75 é um ajuste grosseiro para a demanda de pico sobre a demanda média (Electricity Council, 1981 *apud* Parker *et al.*, 1987)

Tabela B.3 - Características da vulnerabilidade das redes de abastecimento de água à interrupção (adaptado de Parker *et al.*, 1987)

	Susceptibilidade física	Dependência (de áreas fora da área de inundação)	Transferibilidade
Estações de tratamento	Média	Alta	Depende da localidade
Dispositivos de armazenamento	Baixa	Alta	Variável
Estações de bombeamento	Alta	Alta	Baixa
Conduitos	Baixa	Baixa	Alta

Tabela B.4 - Características da vulnerabilidade das redes de saneamento à interrupção (adaptado de Parker *et al.*, 1987)

	Susceptibilidade física	Dependência (de áreas fora da área de inundação)	Transferibilidade
Estações de tratamento	Alta	Alta	Baixa
Estações de bombeamento	Alta	Alta	Baixa
Conduitos	Baixa	Alta	Baixa

Tabela B.5 – Características da vulnerabilidade das redes de telecomunicações (adaptado de Parker *et al.*, 1987)

	Susceptibilidade física	Dependência (de áreas fora da área de inundação)	Transferibilidade
Troca do STD	Muito alta	Muito alta	Baixa
Troca da central telefônica	Muito alta	Alta	Nula
Ponto de conexão primário (cabines)	Baixa	Média (servir c/ 1000)	Nula
Ponto de conexão secundário (suportes)	Baixa	Baixa (servir c/ 1000)	Nula
Cabos principais*	Baixa	Variável	De nula a média
Conexões do consumidor*	Média	Baixa	Nula

* telex, linhas privadas

STD = Subscritores troncos de discagem

**ANEXO C – DOCUMENTO DE CONSULTA AOS ESPECIALISTAS E
CURVAS PROFUNDIDADE - DANO**

ANEXO C1
AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE VULNERABILIDADE PARA ESCOLHA DE
MEDIDAS PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÕES

1- INTRODUÇÃO

A problemática das cidades brasileiras com respeito à ocorrência de inundações tem reafirmado cada vez mais a necessidade de se introduzir os aspectos hidrológicos no planejamento de áreas urbanas. Além disso, os altos custos das perdas quando da ocorrência desses eventos apresenta a clara necessidade de avaliação das medidas de controle a serem adotadas, não apenas no tocante aos aspectos técnicos, mas também, no tocante aos recursos financeiros envolvidos na solução dos problemas e nos impactos que a introdução das medidas trarão para a sociedade e para o meio ambiente.

Partindo dessas considerações foi proposto o desenvolvimento de um estudo cujo objetivo é o de desenvolver um sistema de auxílio à decisão para a escolha de medidas para o controle de inundações introduzindo na análise, os aspectos financeiros, sociais, ambientais e de saúde pública.

Dependendo da área existem diferentes opções de soluções para o problema das inundações. Cada uma dessas diferentes opções, incorporando de maneira isolada ou em conjunto, as medidas de controle de inundações, será aqui denominada de *cenário*.

Os diferentes aspectos citados anteriormente serão introduzidos na análise de cada cenário pela utilização de *indicadores de vulnerabilidade* definidos a partir de três *critérios*, e de *indicadores financeiros*. O impacto hidrológico da introdução de cada cenário na área afetada está diluído em dois critérios relacionados aos Impactos Ambientais e de Saúde Pública, e Impactos Sociais. Nestes dois critérios são propostos nove indicadores de vulnerabilidade. Dois outros indicadores de vulnerabilidade verificarão a possibilidade de transferência de efeitos para jusante da área afetada a partir do critério Impacto Hidrológico a Jusante.

Os indicadores propostos para efetuar a análise de cada cenário nos diferentes critérios serão obtidos por meio de expressões matemáticas e por análises qualitativas. Com isso pretende-se

simplificar o diálogo entre os diferentes atores envolvidos no processo de tomada de decisão e tornar mais eficiente a escolha de medidas para o controle de inundações. A formulação dos indicadores está diretamente ligada aos parâmetros da inundação definidos por modelagem hidrológica e hidráulica e às características físicas e de ocupação locais.

A análise final sobre a adoção do cenário será efetuada pela confrontação dos indicadores de vulnerabilidade aqui apresentados, com indicadores financeiros. Estes relacionarão os custos relativos à construção, manutenção e operação das medidas de controle adotadas em cada cenário, os custos dos danos diretos à construção e conteúdo das edificações, os danos diretos à infraestrutura urbana e os custos de atendimento de urgência aos desabrigados e desalojados pela inundação.

Uma das etapas da composição dos indicadores de vulnerabilidade para utilização no sistema de auxílio à decisão passa pela avaliação dos mesmos por um grupo de especialistas. Este grupo é composto por diferentes segmentos envolvidos no processo de escolha de medidas para o controle de inundações e de atuação no momento de crise (pesquisadores e representantes de órgãos gestores da área de drenagem urbana e controle de inundações, representantes de entidades envolvidas no socorro às vítimas, representantes de comitês de bacia e de órgãos responsáveis pelo planejamento urbano e pela comunidade). Essa etapa da pesquisa tem o objetivo de avaliar a pertinência e a importância dos indicadores propostos. Para tanto está sendo solicitado aos participantes deste processo, a atribuição de pesos aos indicadores da maneira descrita a seguir. Ao mesmo tempo espera-se a contribuição dos especialistas consultados para a agregação de informações e indicação de ausência de aspectos relevantes à análise.

2 – ATRIBUIÇÃO DE PESOS

A metodologia escolhida para a atribuição dos pesos dos indicadores está dividida em duas etapas. A primeira etapa consta da atribuição de pesos diretamente para cada critério ao final do texto explicativo dos indicadores que compoem o mesmo. O somatório dos valores inferidos aos critérios deverá perfazer um total de 100.

A próxima etapa consiste na atribuição dos pesos dos indicadores propostos para cada critério. Para execução dessa etapa os indicadores serão comparados dois a dois dentro do mesmo critério (linha com coluna) nas Tabelas 2, 3 e 4. Dessa forma executa-se a comparação da importância de um indicador (linha) com os outros indicadores pertencentes ao mesmo critério (colunas) estabelecendo-se uma ordem de importância de um sobre o outro. A Tabela 1 apresenta as siglas correspondentes aos graus de importância a serem atribuídos na comparação entre os indicadores. No encontro de um indicador (linha) com ele mesmo (coluna) haverá sempre o preenchimento com **IN** (situação de indiferença ou igual importância). Vale lembrar que essa mesma relação pode existir entre outros pares de comparação. Nas Tabelas de comparação entre indicadores (Tabelas 2, 3 e 4) **somente os espaços em branco deverão ser preenchidos.**

3 - CRITÉRIOS E INDICADORES

3.1 – IMPACTOS AMBIENTAIS E DE SAÚDE PÚBLICA NA ÁREA AFETADA

3.1.1 – Possibilidade de contaminação da água de inundação por esgoto sanitário

A ocorrência de inundações e a entrada de água nas edificações podem ocasionar a entrada de água também nos condutos de esgotamento sanitário. Uma sobrecarga de água não prevista para esses condutos pode fazer com que ocorra um refluxo de água misturada com dejetos provenientes do esgotamento sanitário e a consequente contaminação das águas de inundação. Este indicador foi proposto com o objetivo de avaliar se as condições de escoamento observadas após a introdução de cada cenário permite a entrada de água da chuva e a contaminação desta pelo contato com a rede de esgotamento sanitário.

3.1.2 – Propensão do cenário na proliferação de vetores aladados

A água parada em depressões por um período extenso de tempo pode representar um risco à saúde a partir do momento em que se torna um ambiente favorável à proliferação de vetores alados disseminadores de enfermidades. Diante dessa situação propõe-se um indicador para avaliar o comportamento de cada cenário em relação à possibilidade de manutenção de água em poças e depressões e a propensão para a proliferação de enfermidades com origem nas inundações.

3.1.3 – Risco de poluição acidental

A caracterização da ocupação da área pode revelar a existência de indústrias e estabelecimentos comerciais e de saúde que fabriquem, comercializem ou utilizem elementos químicos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente tais como: produtos de farmacologia, hospitais e laboratórios de análises clínicas; postos de combustíveis; indústria e comércio de produtos agropecuários; indústria e comércio de produtos químicos; aterro sanitário e usina de compostagem de lixo; e estação de tratamento de esgoto. O contato com a água de inundação nesses casos pode conduzir a consequências desfavoráveis à saúde da população e ao meio ambiente, uma vez a mistura da água com esses elementos pode se tornar fonte de poluição

difusa. Dessa forma, esse indicador pretende analisar de que maneira cada cenário possibilita o contato da água de inundação com os estabelecimentos considerados perigosos e em decorrência disto avaliar a potencialidade do cenário no controle desse tipo de poluição.

3.1.4 – Alteração na qualidade da água

Algumas medidas de controle de inundação têm como vantagem a melhoria da qualidade da água de inundação por propiciar a retenção dos sedimentos e poluentes nas camadas superiores do solo ou por permitir a deposição dos mesmos no seu fundo, reduzindo assim, a concentração da carga poluidora transferida para os corpos receptores. Outras alternativas, por sua vez, podem não apresentar efeito algum nesse aspecto. Dessa maneira o presente indicador tem como finalidade avaliar o comportamento de cada cenário na melhoria da qualidade da água de escoamento pela retenção de partículas sólidas e poluentes por meio da análise do tipo de medida adotada.

3.1.5 – Alteração na morfologia fluvial

As alterações observadas nos cursos d'água decorrem de fatores físicos atribuídos à formação dos mesmos e das alterações sofridas quando da execução de obras no próprio curso d'água ou nas adjacências. Dentre os princípios que regem o funcionamento adequado de cursos d'água em meio urbano pode-se citar a gestão da erosão e da sedimentação, a manutenção e a reabilitação de margens e a manutenção do equilíbrio dinâmico do mesmo. Partindo desse pressuposto, o presente indicador pretende avaliar o impacto de cada cenário em relação às alterações positivas ou negativas que podem vir a ocorrer no curso d'água por ocasião da introdução das medidas de controle adotadas, observando no contexto, tanto os aspectos quantitativos quanto os qualitativos das possíveis alterações sofridas em virtude da aplicação do cenário.

3.1.6 – Alteração sobre o volume escoado e consequente efeito sobre a recarga de aquíferos

As alternativas de controle com funcionamento baseado na infiltração das águas pluviais e

outras medidas que favorecem a renaturalização e a recuperação das margens dos rios podem apresentar um efeito positivo sobre os volumes escoados e sobre a recarga de aquíferos. Outras medidas tais como os canais de desvio, podem reduzir os volumes escoados por ocasião das inundações sem, no entanto contribuir com a alimentação dos lençóis subterrâneos. Dessa maneira, o presente indicador tem a finalidade de avaliar o comportamento de cada cenário na produção de escoamento e na perda de água da superfície para alimentação do lençol freático. Esse indicador parte do pressuposto que se há redução no volume escoado, há também uma maior probabilidade desse volume ter sido infiltrado.

PESO DO CRITÉRIO:	
--------------------------	--

3.2 – IMPACTOS SOCIAIS NA ÁREA AFETADA

3.2.1 – Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos

No Brasil o sucesso da utilização de áreas públicas para a solução de problemas urbanos não está sujeita, apenas, à análise dos aspectos técnicos relacionados. Uma finalidade secundária para a intervenção pode ser vital para o sucesso da mesma. Dessa maneira, o presente indicador tem a finalidade de avaliar se a introdução de cada cenário favorece a utilização das medidas de controle adotadas na criação ou reabilitação de espaços de convívio social e lazer, partindo do pressuposto que a sua utilização por outra finalidade secundária favorece a sua integração.

3.2.2 – População afetada pela inundação

A população que habita a zona de inundação é a que mais sente os efeitos de uma cheia de maiores proporções, arca com grande parte dos prejuízos diretos decorrentes da inundação e sofre diretamente os seus transtornos. Dessa maneira, este indicador, a partir dos parâmetros da inundação, pretende avaliar o quanto a população é afetada diretamente pela inundação após a implantação de cada cenário.

3.2.3 – Necessidade de realocação da população

Algumas alternativas de controle necessitam de espaço para serem inseridas, o que muitas vezes obriga a remoção definitiva da população do local onde as mesmas serão introduzidas. Sendo assim, este indicador tem como finalidade avaliar o comportamento de cada cenário em relação à necessidade de realocação da população para sua inserção.

PESO DO CRITÉRIO:	
--------------------------	--

3 3 - IMPACTO HIDROLÓGICO A JUSANTE DA ÁREA AFETADA

3.3.1 – Propensão do cenário em gerar inundação a jusante

Dependendo das medidas que comporão o cenário, as condições de escoamento da área afetada poderão ser modificadas e as consequências dessa modificação podem resultar em efeitos compensatórios à jusante. Dessa forma, o presente indicador tem como objetivo avaliar o comportamento de cada cenário em relação à geração de inundação à jusante da área onde os mesmos serão inseridos, tomando como base as condições de escoamento na saída da área.

3.3.2 – Propensão do cenário em causar erosão ou sedimentação a jusante

As condições de escoamento na seção mais a jusante do curso d'água da área onde serão inseridos os cenários, conjugadas com as características do curso d'água a partir deste ponto podem favorecer a erosão e a sedimentação de partículas carregadas de montante para jusante. Este indicador pretende, então, avaliar se após a introdução de cada cenário, as condições de escoamento em conjunto com as características geológicas locais afetarão de forma positiva ou negativa a ocorrência de erosão ou de sedimentação a jusante da bacia.

PESO DO CRITÉRIO:	
--------------------------	--

Tabela 1 – Pesos para avaliação da pertinência entre critérios e indicadores

IN	Indiferente ou igual importância	LL	Ligeiramente menos importante
PL	Ligeiramente mais importante	LM	Menos importante
PI	Mais importante	LP	Muito menos importante
PP	Muito mais importante	SI	Sem importância
SD	Sem dúvida muito mais importante		

Tabela 2 - Ponderação dos indicadores relacionados aos impactos ambientais e de saúde pública

Indicadores	Possibilidade de contaminação da água por esgoto sanitário	Propensão do cenário na proliferação de vetores alados	Risco de poluição acidental	Alteração na qualidade da água	Alteração na morfologia fluvial	Alteração sobre o volume escoado e sobre a recarga de aquíferos
Possibilidade de contaminação da água por esgoto sanitário	IN					
Propensão do cenário na proliferação de vetores alados		IN				
Risco de poluição acidental			IN			
Alteração na qualidade da água				IN		
Alteração na morfologia fluvial					IN	
Alteração sobre o volume escoado e sobre a recarga de aquíferos						IN

Tabela 3 - Ponderação dos indicadores relacionados aos impactos sociais

Indicadores	Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos	População afetada pela inundação	Necessidade de realocação da população
Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos	IN		
População afetada pela inundação		IN	
Necessidade de realocação da população			IN

Tabela 4 -Ponderação dos indicadores relacionados aos impactos hidrológicos a jusante da área

Indicadores	Propensão do cenário em gerar inundação a jusante	Propensão do cenário em causar erosão ou sedimentação a jusante
Propensão do cenário em gerar inundação a jusante	IN	
Propensão do cenário em causar erosão ou sedimentação a jusante		IN

Tabela 5 – Correção dos pesos dos indicadores pelos especialistas

Crítérios	Indicadores	Pesos Crítérios	Pesos Indicadores AHP	Pesos Indicadores Direto
IMPACTOS AMBIENTAIS E DE SAÚDE PÚBLICA NA ÁREA AFETADA	Possibilidade de contaminação da água de inundação por esgoto sanitário			
	Propensão do cenário na proliferação de vetores aladados			
	Risco de poluição acidental			
	Alteração na qualidade da água			
	Alteração na morfologia fluvial			
	Alteração sobre o volume escoado e conseqüente efeito sobre a recarga de aquíferos			
IMPACTOS SOCIAIS NA ÁREA AFETADA	Criação e reabilitação de espaços de recreação, lazer e equipamentos urbanos			
	População afetada pela inundação			
	Necessidade de realocação da população			
IMPACTO HIDROLÓGICO A JUSANTE DA ÁREA AFETADA	Propensão do cenário em gerar inundação a jusante			
	Propensão do cenário em causar erosão ou sedimentação a jusante			
Somatório dos Pesos				

ANEXO C2

AVALIAÇÃO DE DANOS DIRETOS ÀS RESIDÊNCIAS E SETORES DO COMÉRCIO E SERVIÇOS – CURVAS PROFUNDIDADE-DANO

Danos a Residências - Classes A e B

$$y=100.827+43.287*\ln(x)$$

Coefficiente de Correlação: $r= 0,9083$

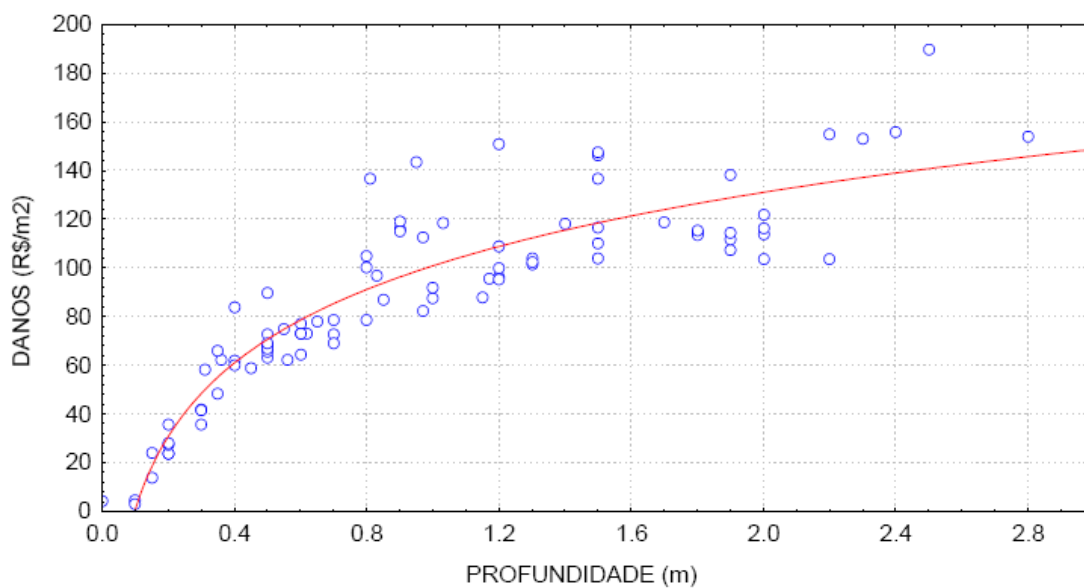


Figura C.1 – Curva DPS para residências classes A e B (Machado, 2005)

Danos a Residências - Classe C

$$y=74.685+27.388*\ln(x)$$

Coefficiente de correlação: $r= 0,7914$

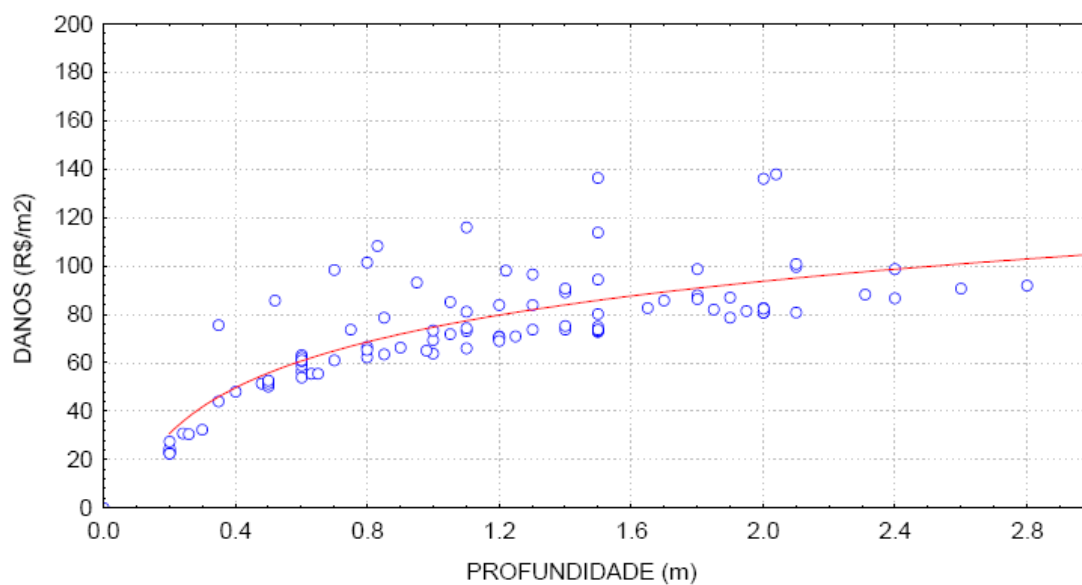


Figura C.2 – Curva DPS para residência classe C (Machado, 2005)

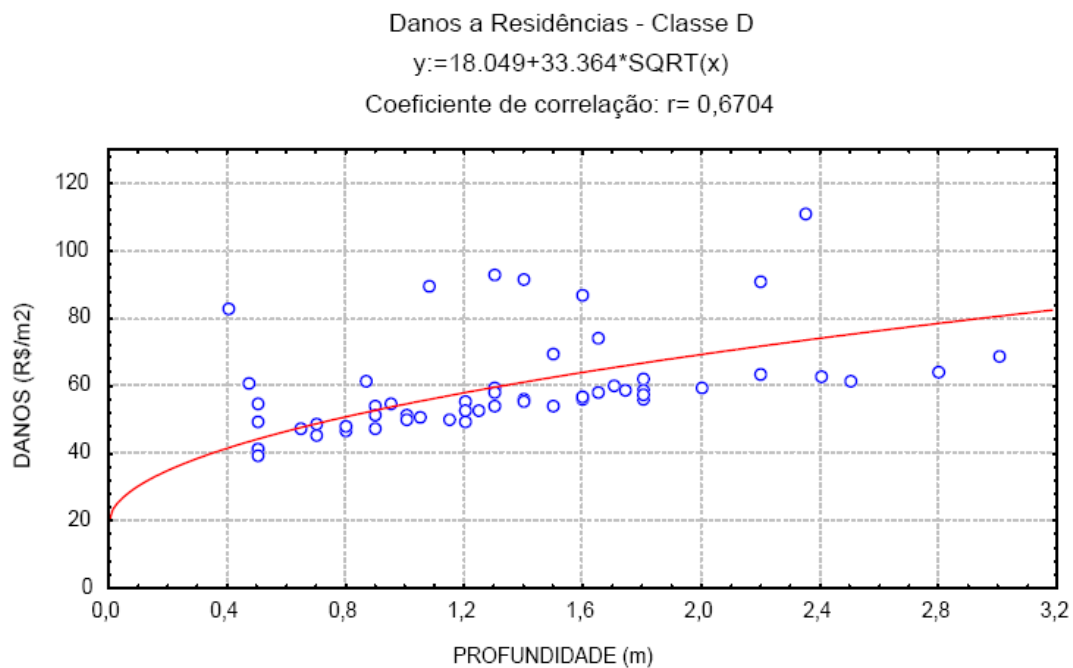


Figura C.3 – Curva DPS para residência classe D (Machado, 2005)

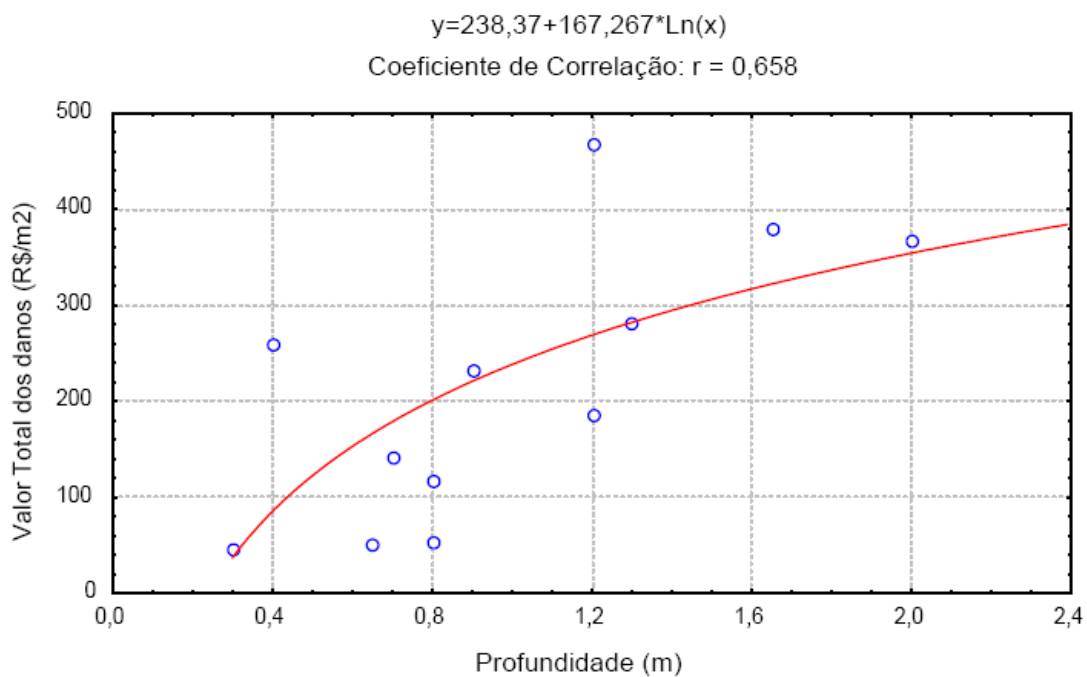


Figura C.4 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 1 e 5 (supermercados, mercearias e armazéns)

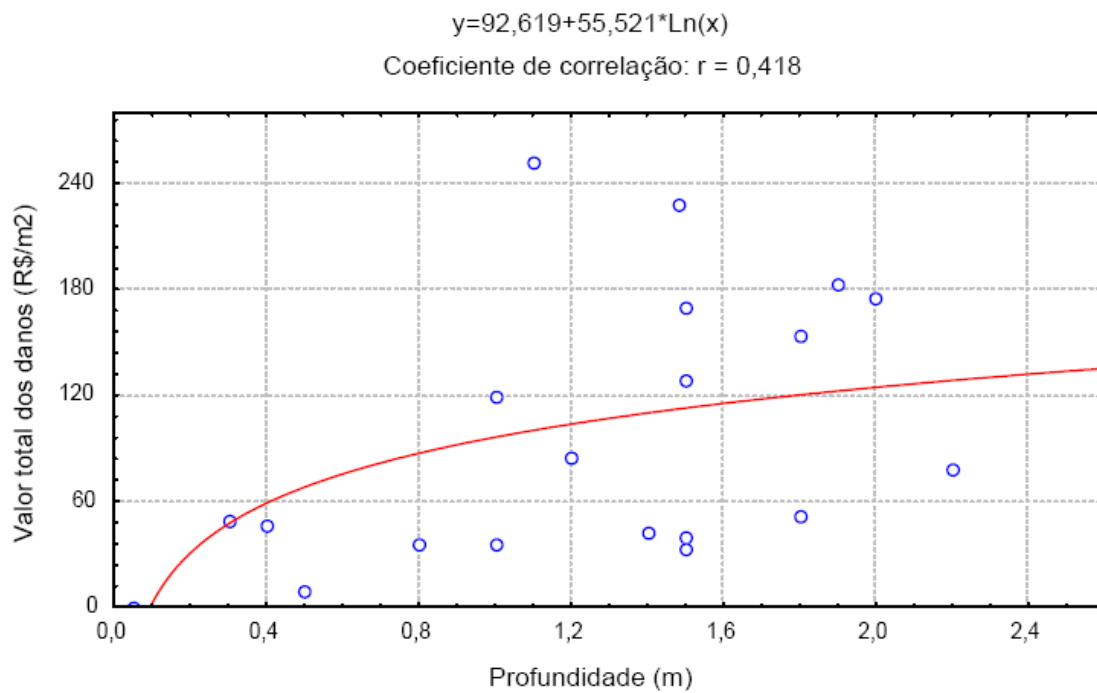


Figura C.5 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 4, 6 e 7 (padarias, confeitarias, açougues, peixarias, comércio de frutas, verduras e legumes)

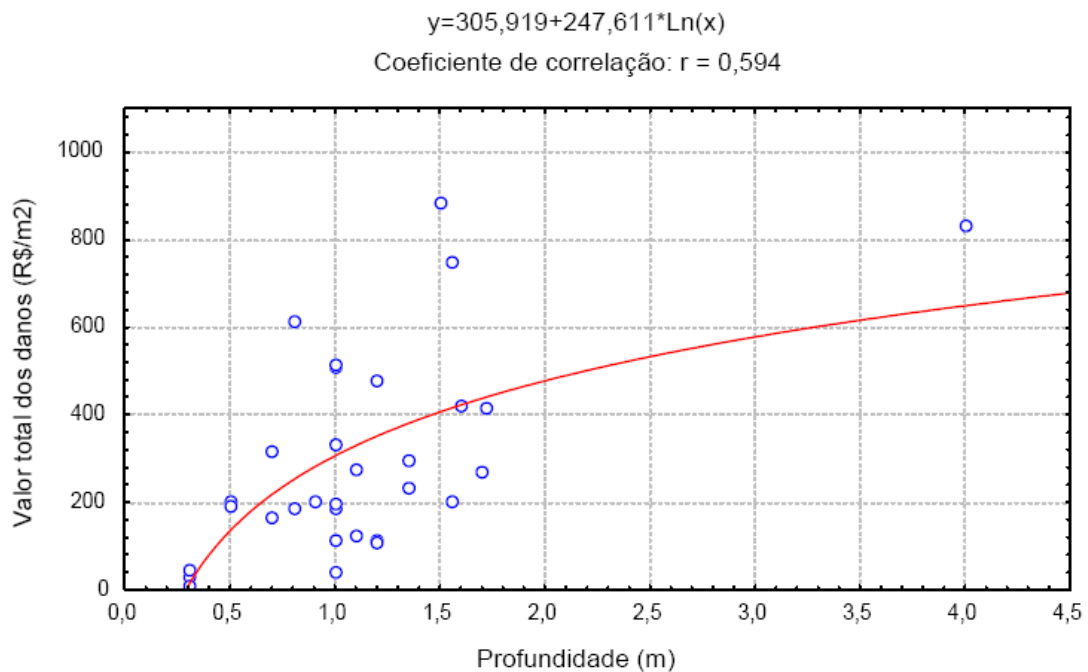


Figura C.6 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 2, 8 e 9 (lojas de departamento, artigos de armarinho, vestuário e tecidos, sapatarias e produtos de couro)

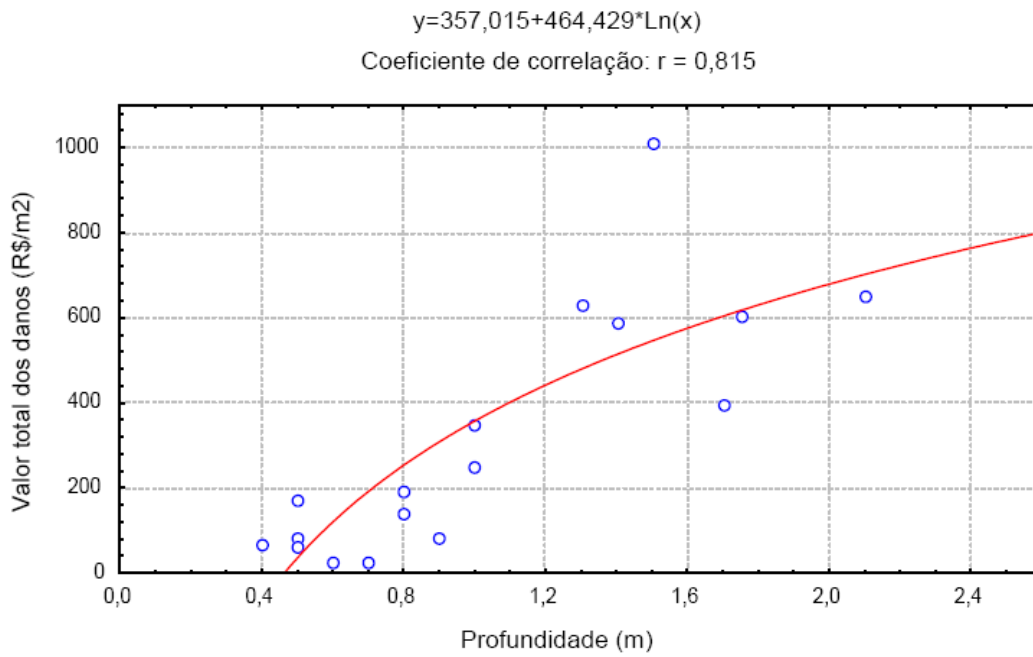


Figura C.7 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 10 e 15 (móveis, eletrodomésticos, equipamentos de informática)

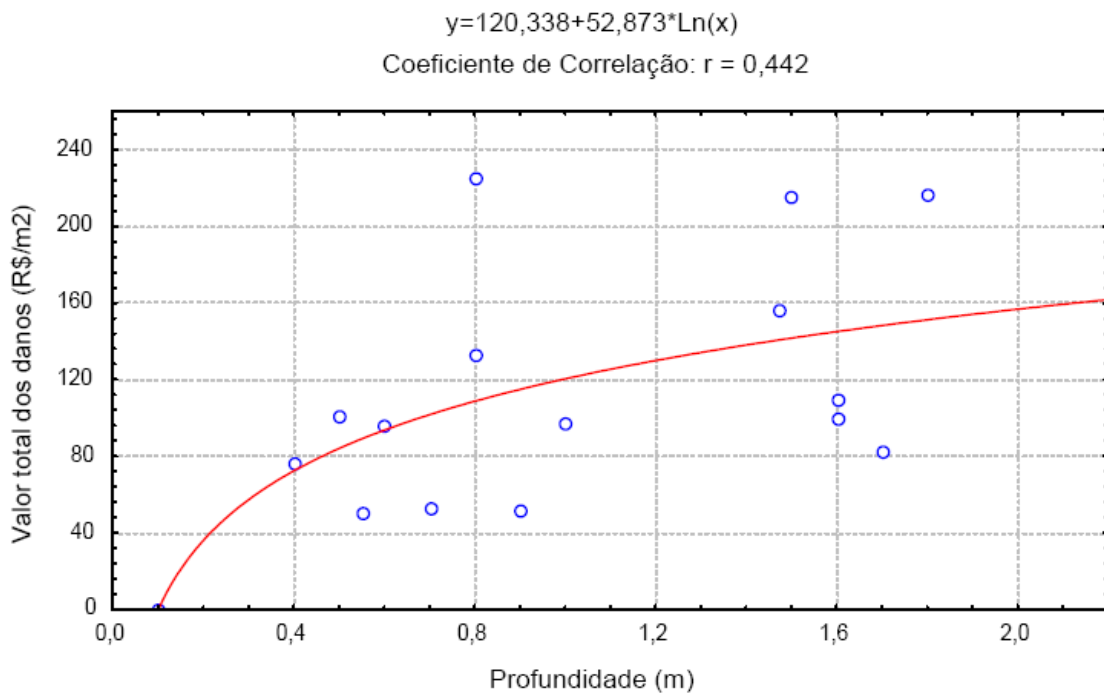


Figura C.8 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categoria 11 (materiais de construção e ferragens)

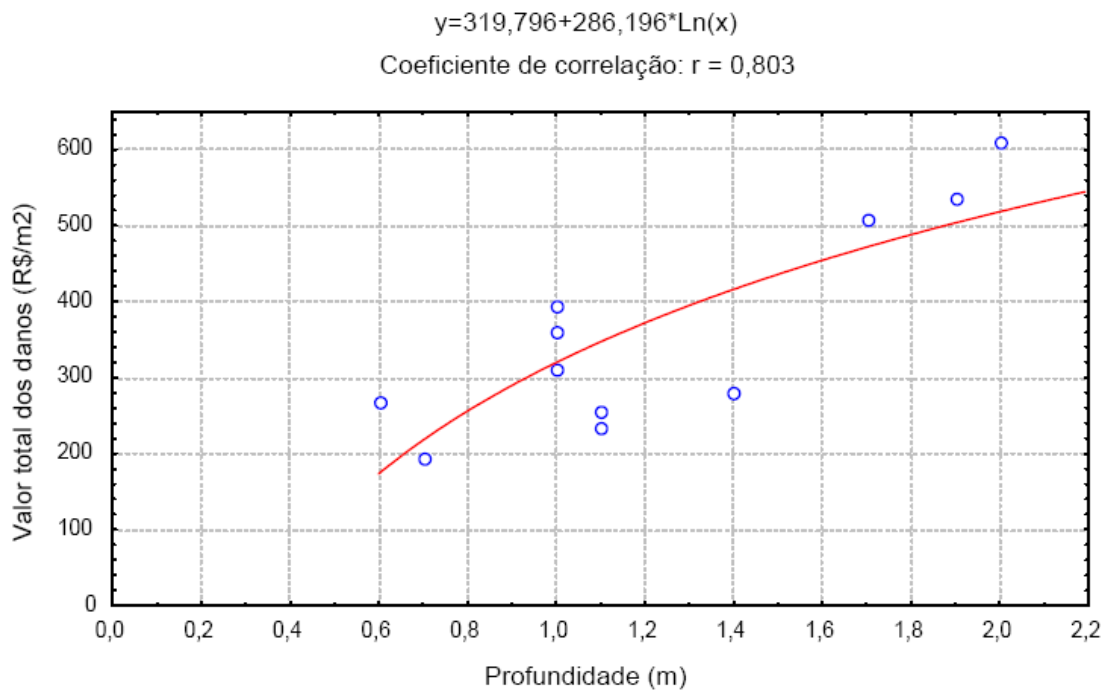
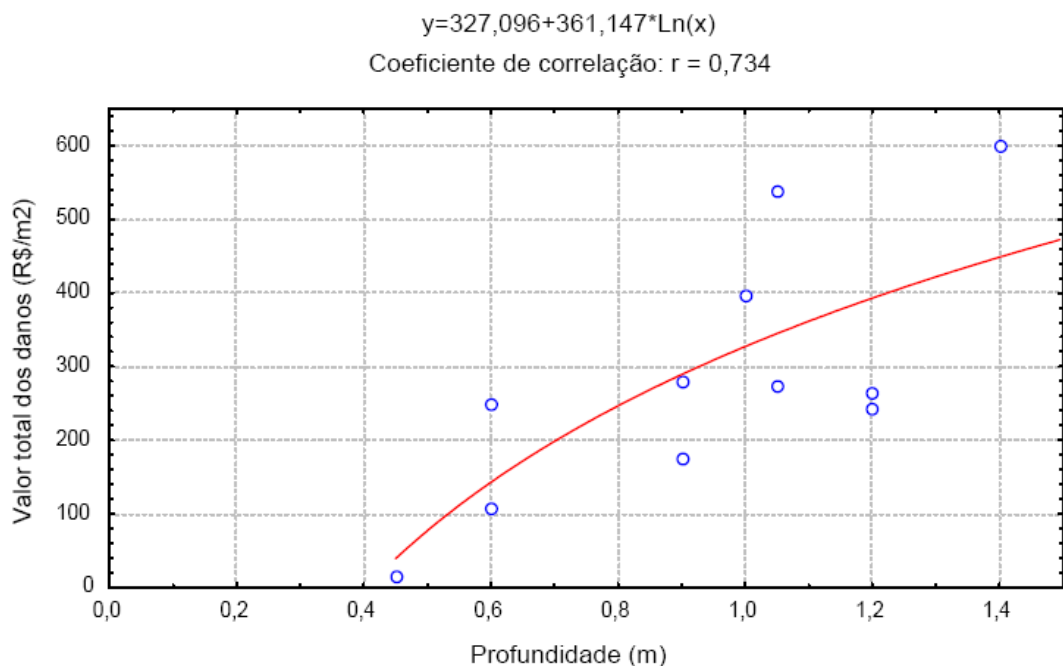


Figura C.9 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categoria 12
(produtos farmacêuticos, perfumaria e cosméticos)



Curva C.10 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 13 e 14
(joalherias, relojarias e óticas)

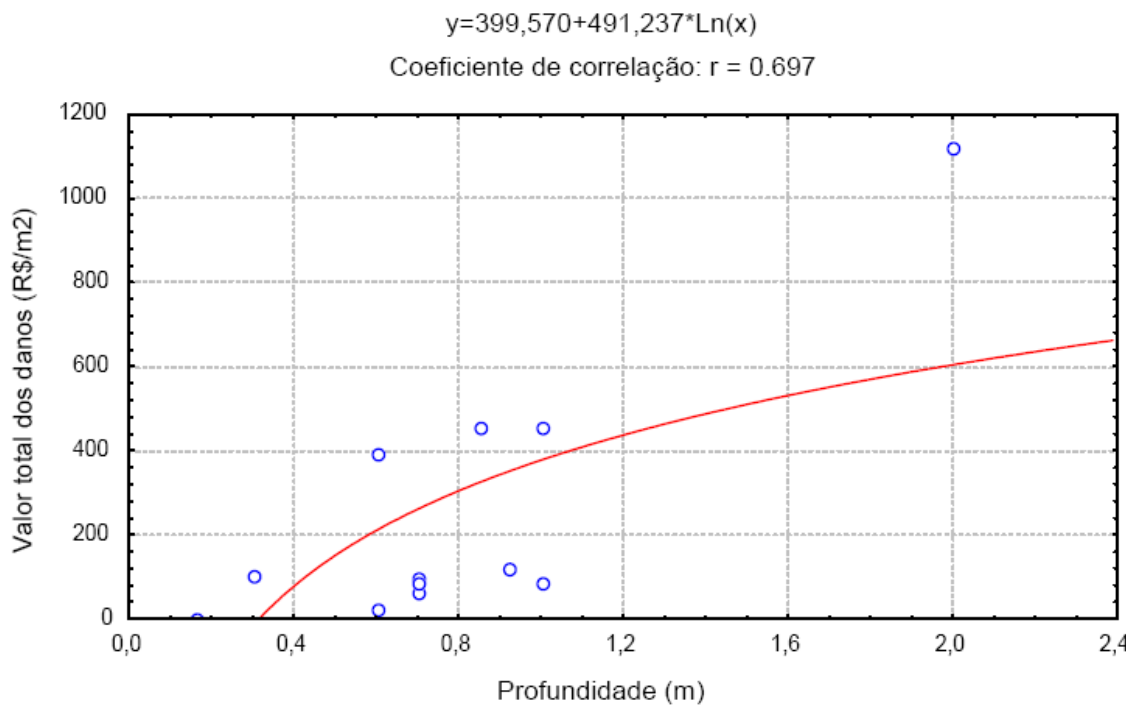


Figura C.11 - Curva Dano x Profundidade para o setor comercial, categoria 16 (livrarias, papelarias)

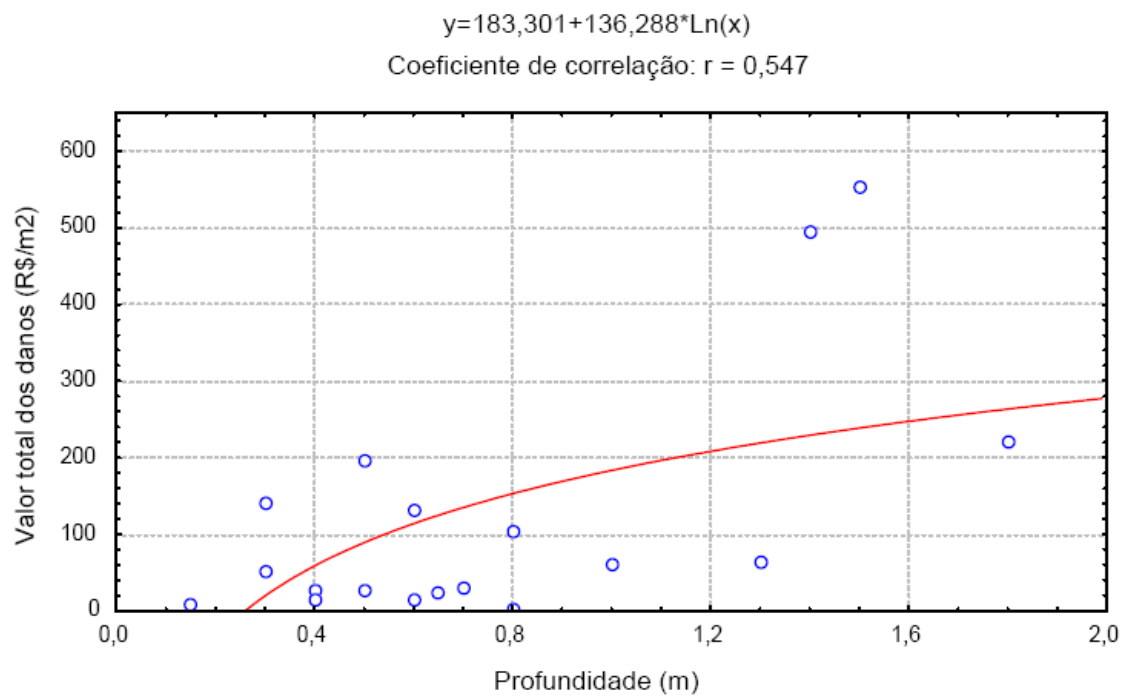


Figura C.12 - Dano x Profundidade para o setor comercial, categorias 17 e 18 (comércio de veículos e motos, peças e acessórios)

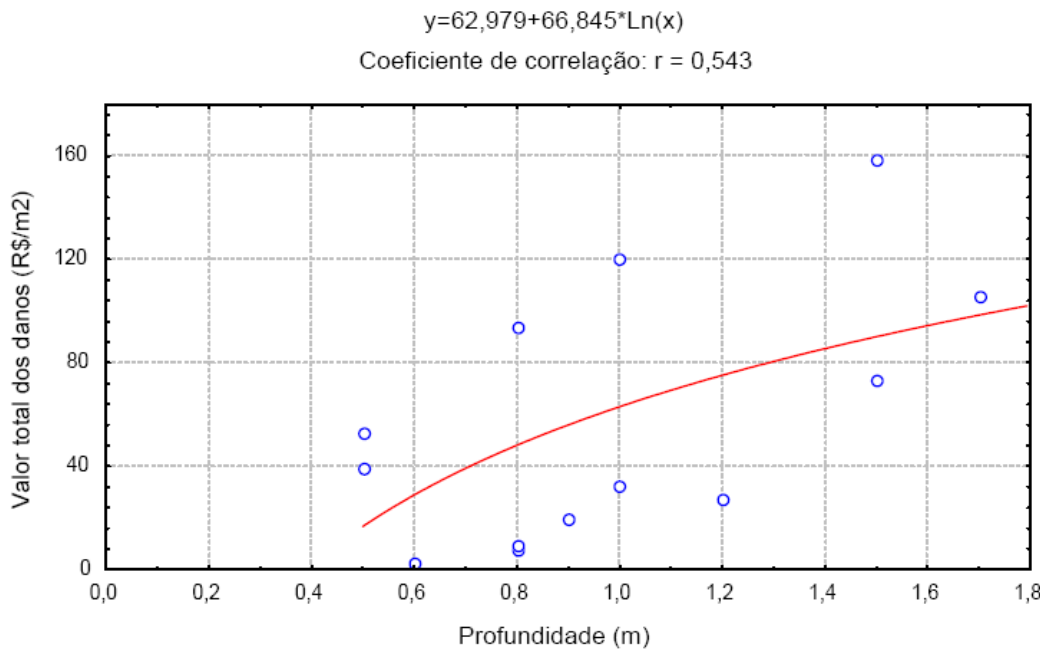


Figura C.13 - Curva Dano x Profundidade para o setor de serviços, categoria 2 (restaurantes, lanchonetes, bares e cafés)

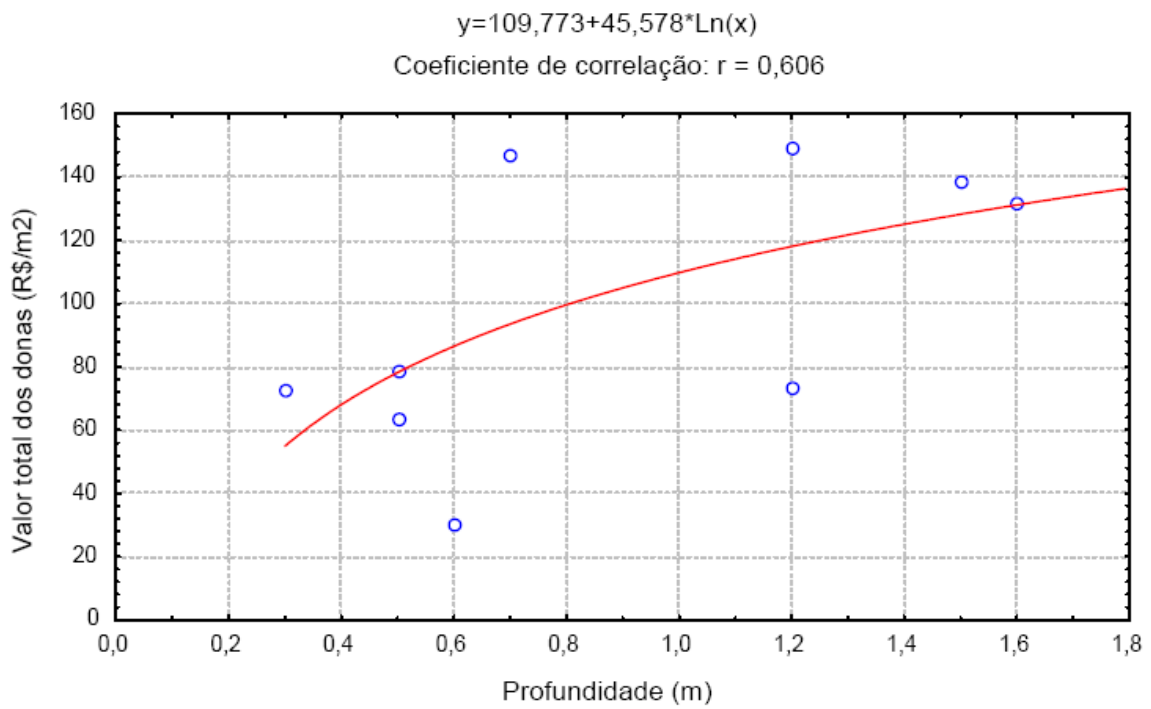


Figura C.14 - Curva Dano x Profundidade para o setor de serviços, categorias 3 e 7 (consultórios odontológicos, salões de beleza e barbearias)

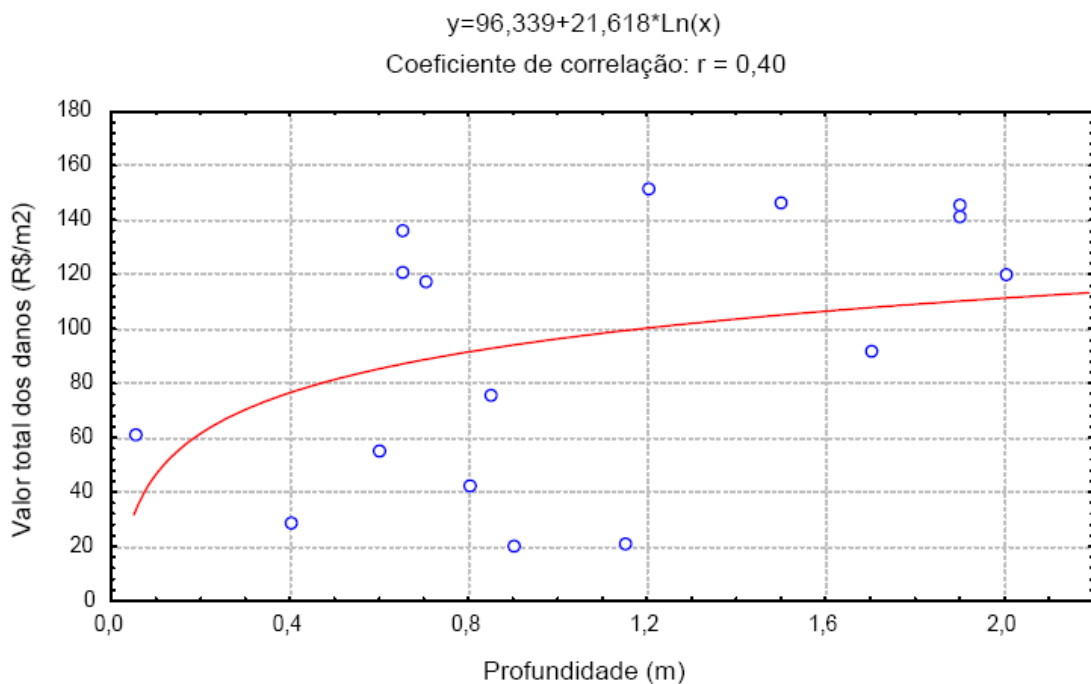


Figura C.15 - Curva Dano x Profundidade para o setor de serviços, categorias 4, 5 e 6 (consultórios médicos, empresas de engenharia, escritórios de arquitetos, advogados, contadores, bancos, imobiliárias, financeiras)

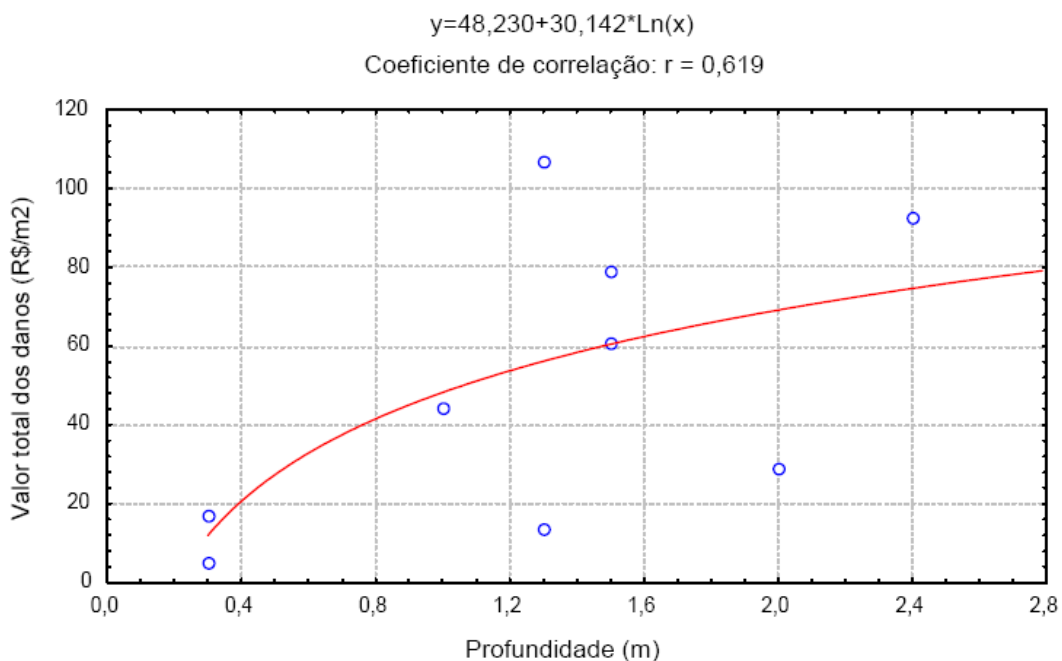


Figura C.16 - Curva Dano x Profundidade para o setor de serviços categoria 10 (escolas)

**ANEXO D – FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM 3A E
EQUIPAMENTOS DA REDE TELEMÉTRICA**

Ficha Técnica do Projeto da Barragem 3A

Informações Gerais

- Localização:

Municípios de Itajubá e Piranguçu, sul do Estado de Minas Gerais, cerca de 4 km a montante da ponte da BR 459, sobre o Rio Sapucaí, no trecho que liga Itajubá a Venceslau Brás.

- Objetivo: amortecimento de cheias;

- Bacia Hidrográfica:

área de drenagem na seção de barramento: 378 km²

- Desnível dos limites da bacia até a seção de barramento:943 m

- Vazões naturais observadas no local do reservatório de detenção:

média de longo termo:8,82 m³/s

máxima:87,0 m³/s

mínima:3,97 m³/s

- Lago de Acumulação

nível d'água máximo normal (CSV):891 m

volume acumulado ao nível do vertedouro (CSV): 25 hm³

volume acumulado ao nível ao nível máximo de cheia: 33 hm³

área inundada ao nível da soleira do vertedouro(CSV): 171 ha

área inundada ao nível máximo de cheia: 192 ha

Características do Maciço de Concreto

- Tipo: de concreto com fechamento dos encontros em argila

- Barramento em concreto: gravidade, em Concreto Compactado com Rolo - CCR

- Comprimento da crista

Total:260 m

- Altura máxima sobre as fundações:41 m

- Altura máxima sobre o leito natural do rio:34 m

- Cota de coroamento

Estrutura em concreto:894,5 m

Fechamento em argila894,5 m

Características dos Encontros em Aterro Compactado

- Tipo: seção homogênea em argila

- Comprimento da crista:20 m

- Altura máxima sobre a fundação:3 m

- Cota de Coroamento:894,5 m

Vertedouro de emergência

- Tipo: frontal conformado a um perfil Creager

- Calha de descarga: em degraus

- Paramento de Montante:35 m

- Comprimento total:72,00 m

- Abertura livre:72,00 m

- Vazão de Dimensionamento:787 m³/s

- Cota da soleira:891 m

- Capacidade de descarga na cota 894 m.....787 m³/s

Descarregador de fundo

- Objetivo: atender a etapa de desvio do rio e descarregar as cheias

- Posicionamento: margem direita

- Dimensões dos orifícios:2 x 2,00 x 2,00m (controlados por comporta)

1 x 1,5 x 1,5m (sem controle)

- Cota da soleira de entrada dos orifícios:857,00 m

- Gradeamento de proteção da entradaestrutura em concreto armado tipo grelha

- Comporta de operação dos orifícios com vão 2x2m..... tipo segmento

- Raio da comporta4,00 m

- Acionamento das comportas hidráulico por motor elétrico c/opção manual

Obras Complementares

- Sistema Viário

estradas novas:14,10 km

- Energia Elétrica

remanejamento de redes em AT existentes (linhão):2,0 km

redes adicionais de suprimento:3,5 km

capacidade da subestação transformadora: 15 kVA

Principais Quantitativos de Materiais e Serviços

- Escavações: 244.000 m³

- Aterros: 5.800 m³

- Concreto: 111.100 m³

ESPECIFICAÇÕES DE EQUIPAMENTOS PARA A REDE TELEMÉTRICA DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

1. SENSOR DE PRECIPITAÇÃO

- Tipo: *Tipping Bucket*; Resolução: 0,25 mm ou 0,20 mm; Faixa de Medição: 0 a 200 mm/hora; Fornecido com chave de palheta ("*reed-switch*") preferencialmente embebida em mercúrio, e ativada por braço magnético. Admite-se como alternativa o fornecimento de "*reed-switch*" a contato seco desde que o pluviômetro venha equipado com centelhador nos terminais junto à "*reed switch*".
- Área de captação de 300 a 400 cm².
- Orifício do funil com 4 a 10 mm de diâmetro, com filtro proteção.
- Bâscula sustentada em eixo de aço inox com rolamentos blindados, fixada em mancal.
- Cabos tipo com duas vias, resistente ao sol e à água, assim como, roedores ou insetos.
- Base com furos de fuga com 40 a 80 mm de diâmetro e protegidos com tela inox contra entrada de insetos, e furos para fixação em chapa de suporte.
- Sistema de ajuste e verificação do nivelamento da boca de captação do pluviômetro.
- Corpo em aço inoxidável.
- Suporte composto por uma haste de aço galvanizado com diâmetro mínimo de 5 cm parede de 2 mm de espessura mínima, com rosca para fixação de flange e chapa de aço galvanizado com mínimo de 2 m de comprimento.
- Condições ambientais de operação dos equipamentos:
 - Faixa de temperatura: -5°C a + 50°C;
 - Umidade relativa: 0 a 100%.
- Todos os equipamentos da unidade de monitoramento devem ser equipados com sistema de proteção contra transientes de tensão, correntes induzidas e descargas elétricas.

3. SENSOR DE NÍVEL

- Transdutor de pressão submersível para medição de nível d'água, com correção da pressão atmosférica.
- Construído inteiramente com materiais resistentes à corrosão, com encapsulamento em titânio.
- Cabo com um mínimo de 50 metros de comprimento, capacidade de extensão de comprimento, malha de aterramento e tubo capilar para compensação da pressão atmosférica, resistente ao sol e à água, assim como a roedores ou insetos; e acoplado a sistema anti-umidade.
- Precisão mínima de 0,5 centímetros.
- Faixa de medição do nível do rio: 0 a 12 metros.
- Faixa de variação da corrente: 4 a 20mA.
- Condições ambientais de operação dos equipamentos:
 - Faixa de temperatura: -5°C a $+50^{\circ}\text{C}$;
 - Umidade relativa: 0 a 100%.
- Todos os equipamentos da unidade de monitoramento devem ser equipados com sistema de proteção contra transientes de tensão, correntes induzidas e descargas elétricas.

4. DATALOGGER

- Mínimo 2 canais de entrada para o armazenamento de dados de nível d'água de rio e precipitação.
- Construído inteiramente com materiais resistentes à corrosão.
- Sistema de alimentação por baterias comuns (facéis de substituição "*in loco*") capaz de fornecer energia para todo o sistema de aquisição de dados, com autonomia superior a 12 meses, quando programado para fazer leitura e memorização dos valores de chuva e nível em intervalos de 1 hora.
- Permitira instalação de sistema de recarga das baterias por energia solar ou elétrica.
- Intervalos de programação para leituras e memorização dos valores reajustáveis de 5 minutos a 24 horas. (5min, 10min, 15min, 20min, 30min, 1 h, 2h, 3h, 4h, 6h, 8h, 12h e 24h).
- Visor de cristal líquido com capacidade para visualização de data, hora, precipitação, nível d'água e tensão da bateria.
- Memória circular de gravação não volátil.
- Interface para coleta de dados RS232 e USB.
- Porta de comunicação remota para transmissão telemétrica de dados e programação dos parâmetros de configuração, compatível com os sistemas de transmissão via modem telefônico (convencional e GSM), rádio e satélite encontrados no mercado.
- Porta de comunicação de acesso de programação para permitir que um microcomputador, tipo PC, seja conectado ao equipamento, podendo iniciar a unidade, analisar dados, monitorar operações da unidade, reconfigurar a unidade.
- As operações realizadas a partir das portas de comunicação não deverão interferir nas operações automáticas dos subsistemas de aquisição e registro de dados, exceto quando o usuário assim o desejar. Uma vez conectado a uma destas portas o micro computador deverá ter acesso completo a todos os recursos de programação e coleta dos dados.
- Condições ambientais de operação dos equipamentos:
 - Faixa de temperatura: -5°C a $+50^{\circ}\text{C}$;
 - Umidade relativa: 0 a 100%.
- Todos os equipamentos da unidade de monitoramento devem ser equipados com sistema de proteção contra transientes de tensão, correntes induzidas e descargas elétricas.

5. TRANSMISSOR

- Transmissor rádio modem GSM/GPRS com memória de mínima de 1,0 GB.
- A unidade deverá operar com a tecnologia de comunicação GPRS (General Packet Radio Services), que se baseia na comutação de pacotes, realizando a transmissão sobre a rede pública de telefonia celular GSM.
- Operando nas faixas de transmissão de 900 MHz e 1800 MHz.
- Transmissão em modo "sempre conectado" ("*always on*"), a uma velocidade de até 80 kbit/s, caracterizando conexão e transmissão de dados quase instantânea.
- Condições ambientais de operação dos equipamentos:
 - Faixa de temperatura: -5°C a + 50°C;
 - Umidade relativa: 0 a 100%.
- Todos os equipamentos da unidade de monitoramento devem ser equipados com sistema de proteção contra transientes de tensão, correntes induzidas e descargas elétricas.

6. DOCUMENTAÇÃO E SOFTWARE

- Software de comunicação, direta e remota, entre o *datalogger* e o microcomputador, com possibilidades de:
 - recuperação e visualização dos dados armazenados e instantâneos em forma de gráficos e exportação em formato ASCII e
 - programação e reprogramação do *datalogger*.
- Software com compatibilidade mínima com o sistema operacional Windows XP.
- Desenhos, catálogos e manuais de todos os equipamentos e sensores, com todas as informações necessárias para operação, instalação, calibração e manutenção dos equipamentos e componentes, cobrindo os seguintes tópicos:.
 - *Operação*: Descrição geral do equipamento, seqüência de energização, procedimentos para operação, descrição de eventuais falhas que possam ser detectadas pelos operadores por meio de inspeção visual.
 - *Manutenção*: Descrição técnica de cada equipamento e cada sensor, módulo ou cartão; diagramas dos circuitos dos módulos e parte do equipamento, disposição de componentes e pontos de teste, diagramas de interligação e calibragem; roteiro para diagnóstico e correção de falhas.
 - *Instalação*: Descrição do conjunto de ferramentas necessárias para a instalação de cada equipamento, procedimento de montagem, procedimentos de calibração e ajustes, desenhos de peças e conjuntos mecânicos.
 - *Programação e software*: Instruções para operação do programa e descrição técnica de funcionamento de cada programa fornecido, incluindo procedimentos de instalação do software, carga de parâmetros e dados necessários, acesso aos arquivos, etc.