

Sistemática para avaliação dos danos diretos decorrentes de inundações à infraestrutura urbana

Recebido: 04/07/13
revisado: 21/08/13
aceito: 03/10/13

Jussanã Milograna
Márcio Benedito Baptista
Néstor Aldo Campana

RESUMO: As dificuldades na obtenção de custos dos danos decorrentes de inundações e de procedimentos para sua análise, frequentemente negligenciam este aspecto quando da seleção de alternativas para controle desses eventos. No sentido de contribuir para suprir esta lacuna, o presente artigo tem como objetivo apresentar um procedimento de avaliação de danos diretos decorrentes de inundações aos setores da infraestrutura urbana – abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem pluvial, energia elétrica, sistema viário e limpeza pública – baseado em entrevistas a concessionárias de serviços, prefeituras e Defesa Civil de municípios do estado de Minas Gerais. De forma a consolidar a sistemática proposta a mesma foi aplicada ao município de Itajubá, tendo sido simuladas as cheias para 10, 50 e 100 anos de período de retorno e avaliados seus respectivos danos. Os resultados mostraram que, para o caso específico, dentro das limitações decorrentes das dificuldades para obtenção, tratamento de dados e estabelecimento de correlações com os parâmetros das inundações, os danos à infraestrutura urbana correspondem a cerca de 10% do total dos demais danos diretos.

PALAVRAS-CHAVE: Inundações; Avaliação de danos; Infraestrutura urbana

ABSTRACT: The difficulties in obtain the costs of flood damages and procedures for its analysis normally neglect this aspect when are selected flood control measures. To fill this gap this article aims to present a procedure to assess direct damages due floods at urban infrastructure 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 of Minas Gerais state. To consolidate the proposed systematics it was applied to Itajubá, a city of southern Minas Gerais state, for which were simulated the floods to 10, 50 and 100 yr of return period and its respective damages. The results showed that the damages to the urban infrastructure, within the limitations encountered due to the difficulty of obtaining and processing data, and the establish correlation with parameters of inundation, the infrastructure damages are around 10% of the other direct damages.

KEY WORDS: Flooding; Damage assessment; Urban infrastructure

INTRODUÇÃO

Os danos atribuídos às inundações representam a maior parcela dos prejuízos por desastres naturais em todo o mundo. Berz (2000) estima que somente na década de 1990, mais de US\$250 bilhões foram gastos para compensar as consequências mundiais das inundações. No Brasil, Baptista e Nascimento (1996) e Tucci *et al.* (2003) estimam que os prejuízos desses eventos variam entre 1 e 2 bilhões de dólares por ano. Somente na estação chuvosa de 2011-2012, os prejuízos estimados em 196 municípios do estado de Minas Gerais alcançaram aproximadamente 1,5 bilhões de reais (Senado Federal, 2012). Os danos relatados incluíram cerca de 700 pontes danificadas e 500 destruídas, trechos interrompidos de estradas

e quedas de barreiras, aproximadamente 110 mil desabrigados e 18 perdas de vidas humanas.

A prevenção de eventos de inundação no Brasil passou a ocupar papel importante nas agendas governamentais, com a implementação de diversas iniciativas (e.g. criação do Cemaden - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - em 2011). No que diz respeito ao planejamento dos sistemas de drenagem e controle de cheias, o processo, bastante complexo, encontra-se ainda incipiente. Com efeito, dos sistemas integrantes do saneamento básico, a drenagem de águas pluviais é a mais carente de informações e, em decorrência, o sistema com mais falhas nas políticas de repasse de verbas públicas, o que ocasiona, na maioria dos

municípios brasileiros, um planejamento inadequado e a ocorrência cada vez mais frequente de demonstrações de insuficiência do sistema, com o aumento progressivo dos danos. De acordo com Ministério das Cidades (2011) os investimentos necessários para o atendimento das metas previstas no PLANSAB (Plano Nacional de Saneamento Básico) incluem investimentos da ordem de 17 bilhões de reais até 2015 e de 55 bilhões de reais até 2030.

O cenário de desconhecimento quase total do funcionamento dos sistemas e o montante necessário para adequação dos mesmos bem como a prevenção de eventos extremos apresenta a necessidade de uma avaliação cuidadosa de todos os aspectos envolvidos na questão, não se restringindo essa análise financeira na inserção e manutenção de elementos estruturais de controle do escoamento. Diante desse cenário, os danos decorrentes das inundações evitados mostram-se como importante informação quando da seleção de alternativas para o controle desses eventos e para o planejamento da aplicação de recursos financeiros.

Apesar da sua importância, raramente essas informações constam do planejamento do controle de inundações em áreas urbanas em virtude das dificuldades em se estabelecer uma metodologia universal a ser aplicada para sua avaliação, e pela dispersão das informações pós-inundação, uma vez que elas usualmente não são sistematizadas em momento de crise.

Para a análise dos danos diretos aos setores habitacional, industrial, de comércio e serviços são comumente utilizadas as curvas de danos versus profundidade de submersão, podendo ser citadas, para o caso brasileiro, as iniciativas de Salgado (1995) para o município de São João de Meriti - RJ, e Lima (2003) e Machado (2005) para o município de Itajubá – MG. São ainda incipientes no Brasil, o desenvolvimento de metodologias para estimativa dos danos diretos aos demais setores tais como à infraestrutura urbana, e a estimativa dos danos indiretos.

Normalmente os danos à infraestrutura são calculados tomando como base os danos diretos aos demais setores. No plano internacional, Penning-Rowsell 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 dos danos, assim como a interrupção das vias de acesso rodoviário.

No Brasil, a inexistência da memória dos danos de inundações passadas e a dispersão das informações em diferentes órgãos responsáveis pelos sistemas dificultam a inserção desses aspectos na análise financeira relacionada à busca de soluções para o problema.

Assim, com o intuito de agregar mais elementos nessa análise e fornecer subsídios para a seleção de alternativas de controle das inundações urbanas, o presente artigo tem como objetivo apresentar uma sistemática para a quantificação dos danos diretos a diferentes setores da infraestrutura urbana. A sistemática apresentada a seguir foi desenvolvida a partir da análise da susceptibilidade física dos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos urbanos, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica, sistema viário e sistema de telecomunicações, contando com informações de diferentes órgãos municipais e de apoio à emergência, e concessionárias de serviços dos municípios de Belo Horizonte, Contagem, Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre, todos no estado de Minas Gerais.

METODOLOGIA

Levantamento de dados

O desenvolvimento da sistemática proposta foi feito por análise documental e entrevistas com gestores e pessoal técnico e de manutenção das concessionárias de serviços públicos, órgãos de prefeituras municipais e da Defesa Civil de cinco municípios do estado de Minas Gerais. Foram incluídos nesse levantamento Belo Horizonte (BH) e Contagem, pertencente à Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), além dos municípios de Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre, todos localizados no sul do estado. A abordagem adotada utilizou informações das cheias ocorridas em 1991, 2000 e 2007 para os municípios do sul de Minas Gerais, e dados relativos às cheias de verão de 2009 na RMBH.

Ao todo foram contatadas sessenta pessoas entre gerentes e técnicos das concessionárias, e responsáveis pelas informações nas administrações locais. 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 no ano de 2008, a prefeitura de Contagem, técnicos e prestadores de serviço da TELEMAR e EMBRATEL, e prestadores de serviço do sistema de manejo de águas pluviais de Belo Horizonte.

Durante todo o processo buscou-se definir os danos registrados por ocasião de cada evento, assim como a quantificação dos parâmetros característicos da inundação, com ênfase na duração e na profundidade; todos, definidos por cada concessionária ou órgão em cada município visitado.

Para delimitação das áreas atingidas foram utilizados arquivos da Defesa Civil de cada município ou área atingida, além dos Relatórios de Avaliação de Danos (AVADAN) existentes disponibilizados por este órgão para as cheias de 2000, 2007 e 2009.

Na SUDECAP foram obtidos dados ligados aos setores de drenagem de águas pluviais e sistema viário; indicação de áreas problemáticas relacionadas às inundações; características dos sistemas; e caderno de encargos do órgão com a descrição detalhada de cada dispositivo para levantamento de custos;

Na COPASA e CEMIG, ambas em Belo Horizonte, foi feita a indicação de municípios atingidos e com dados sobre danos aos sistemas, assim como a descrição dos mesmos na capital. Nesses órgãos foram disponibilizados contatos das regionais dos mesmos nos municípios citados anteriormente. As entrevistas nesses órgãos nos municípios de Itajubá, Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre permitiram o levantamento dos danos dos eventos de 1991, 2000 e 2007 que se encontravam catalogados ou foram relatados por trabalhadores da época dos eventos. Além destes foram identificadas as áreas mais atingidas pelos eventos e aquelas mais susceptíveis aos danos; as características dos sistemas e modificações sofridas pelos mesmos com a finalidade de caracterizar o sistema atualmente; o levantamento de melhorias (medidas de proteção) efetuadas após cada evento; número, características, nível de dano dos dispositivos de cada sistema; e a relação de atividades necessárias para o reparo dos danos e retorno das atividades normais do sistema;

A participação da Defesa Civil estadual complementou as informações relativas ao mapeamento e à delimitação de áreas atingidas, além de terem sido

fornecidos os AVADANs de áreas na RMBH e municípios do sul do estado.

Foram entrevistados, também, prestadores de serviço de recuperação do sistema de microdrenagem de Belo Horizonte.

Nas Secretarias de Planejamento dos municípios do Sul de Minas Gerais obteve-se o mapeamento dos municípios, a delimitação das inundações para os eventos citados, a descrição dos planos de emergência de cada município, relatórios dos eventos e o desempenho conjunto da prefeitura e sistema de manejo de resíduos sólidos urbanos para caracterização das atividades de limpeza pós-inundação nos municípios de Santa Rita do Sapucaí e Pouso Alegre.

Apesar da descrição dos danos ocorridos ao sistema de macrodrenagem tanto na região metropolitana quanto nos municípios do sul do estado de Minas Gerais, não foi possível estabelecer uma correlação direta e mensurável entre os parâmetros de inundação e os danos ao mesmo, inviabilizando, assim, sua inclusão na presente proposta de procedimento de avaliação.

Para o sistema de telefonia não foram relatados danos ao mesmo. Segundo os entrevistados (prestadores de serviço da área de telefonia fixa e celular) as partes do sistema de responsabilidade das concessionárias são bastante seguras, não estando sujeitas a danos por eventos de inundação nos quais não haja outros agentes agravantes dos danos além da água.

Um maior detalhamento das entrevistas e dos dados utilizados no desenvolvimento dos procedimentos pode ser encontrado em Milograna (2009).

Proposição de sistemática

A sistemática proposta corresponde ao conjunto de procedimentos para cada item, tendo sido elaborada tomando como base o levantamento efetuado nos municípios, e presume-se que a mesma possa ser extrapolada para regiões com configuração semelhante dos sistemas.

Para cada setor da infraestrutura atingido por inundação e com base nos parâmetros da inundação ocorrida em uma determinada cidade, foi possível obter, junto aos órgãos responsáveis, dados que tornassem possível a extração de indicadores que facilmente podem ser utilizados na extrapolação para outro município qualquer.

Em cada caso devem ser adaptados os procedimentos propostos para uma definição específica de

material constituinte (caracterização local) e ocupação da área em função de particularidades inerentes aos mesmos para cada município. 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 indireto associado a cada sistema é bastante complexo e não foi computado no âmbito desta pesquisa.

Avaliação dos danos

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 caracterização do sistema, os relatos dos danos e a frequência de sua ocorrência permitiu a identificação das partes mais susceptíveis a danos do sistema 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 apresentado na Figura 1 e encontra-se descrito a seguir:

Captação

Os danos na captação somente ocorrerão se a mesma for feita por meio de balsa e conjunto motor-bomba. Nesse caso os danos ocorrerão da seguinte maneira: a)- Balsa: totalmente danificada; b)- Conjunto motor-bomba: se houver previsão de retirada dos mesmos em situação de risco e a realocação temporária acima da cota máxima de inundação, prevê-se a perda de apenas um conjunto motor-bomba; caso contrário, 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; c)- Quadros de comando: se inseridos dentro da área de risco de inundação deverão ser substituídos.

Adução

Não houve relatos de danos na adutora sob pressão ficando sujeito a danos somente a adutora por gravidade. Assim, na adutora por gravidade há perda parcial da parte localizada dentro da área de inundação. De acordo com os dados obtidos propõe-se que seja prevista a substituição de 50% do comprimento do trecho desse elemento dentro da mancha de inundação.

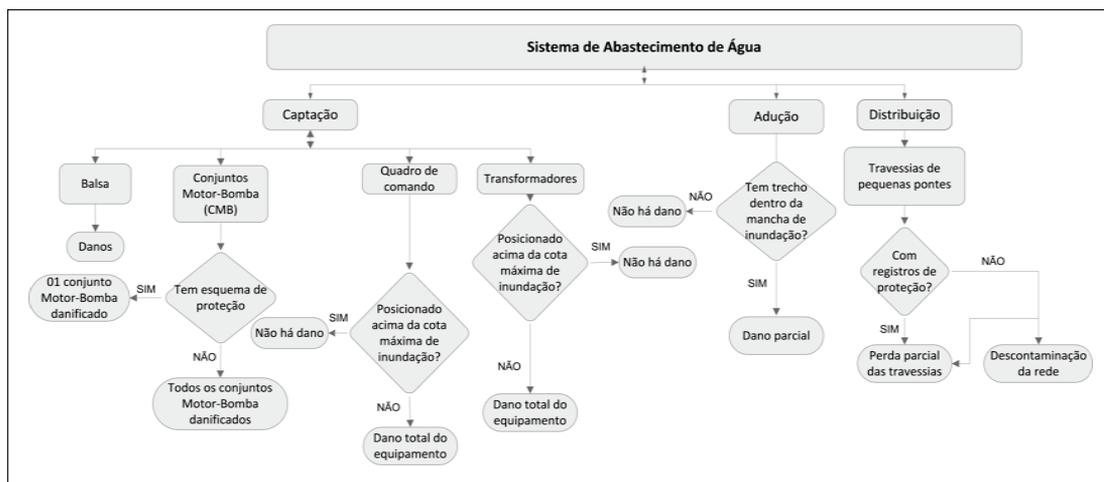


FIGURA 1. Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de abastecimento de água.

Distribuição

As travessias são elementos considerados bastante vulneráveis nesse sistema. A avaliação dos danos a esses elementos depende da existência de dispositivos de interrupção da passagem da água tratada em caso de emergência, pois com o seu rompimento ocorre a despessurização da rede com sua consequente contaminação e perda da água tratada armazenada. Dispositivos de isolamento das travessias (registros) colocados em locais seguros impedem que o rompimento destas acarrete perdas além dela própria. Assim, devem ser determinados: o número de travessias existentes dentro da mancha de inundação considerada; as características dessas travessias (comprimento, diâmetro e material constituinte); a existência de sistemas de proteção; e o comprimento da rede atendida pela travessia.

Utilizando os dados de Itajubá na enchente de 1991 prevê-se uma perda de 40% das travessias de pequenas pontes existentes dentro da área urbana inundada. Para o caso de perda de travessias sem registros de proteção 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 é irrisório e não será considerado no cômputo dos danos, mas deve-se considerar a quantidade de água tratada perdida com o rompimento da travessia.

Com relação à rede de condutos, houve relatos de aumento no número de manutenções após a ocorrência dos eventos. Essas manutenções correspondem às correções de vazamentos na rede propriamente dita e problemas em registros das unidades individuais. Esses serviços fazem parte de contratos com empresas terceirizadas, não tendo sido possível sua apuração. Dessa maneira, considerou-se que as manutenções necessárias após o evento não acarretam, forçosamente, um sobrecurso para a concessionária, uma vez que os contratos de manutenção efetuados já devem incorporar essa atividade.

O levantamento de dados para a estimativa dos danos a este setor está apresentado na Tabela 1. Com base nas composições de custos para a sua obtenção são calculados os custos dos danos a este setor.

Esgotamento sanitário

Em se tratando de rede de esgoto, considerou-se separadamente a rede de esgoto sanitário da rede

de drenagem. Essa separação, frequentemente não realista por ser comum a intercomunicação entre o esgotamento sanitário a rede de drenagem, foi decorrente da análise da responsabilidade pelos serviços. Apesar da titularidade municipal do saneamento no Brasil conforme consta na Lei 11445 de 2007, os sistemas de esgotamento sanitário (assim como de abastecimento de água) frequentemente aparecem sob responsabilidade de concessionárias estaduais ficando apenas a drenagem pluvial a cargo da administração direta do município.

No sistema de esgoto sanitário foram identificados danos essencialmente nos interceptores, mais especificamente 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. No trecho danificado, 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 observada posteriormente. Para a cheia de 2007 em Itajubá foram identificados 17 pontos onde houve abatimentos do pavimento normalmente no trecho compreendido pelo interceptor ocasionando abatimento de valas do interceptor e nos poços de visita da região. Os comprimentos das correções necessárias ao pavimento variaram de 3 a 946 metros num total de 1574 metros o que correspondeu a aproximadamente 5% do comprimento total do trecho de rede dentro da mancha de inundação. 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 em situação semelhante.

Segundo o relatório da COPASA para a cheia de 2007 em Itajubá e pelos relatos de Mota (2008), durante o período chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro), as operações de manutenções tanto na rede de água quanto na rede de esgoto são da ordem das observadas no restante do ano. É possível estimar a quantidade de serviços de manutenção na rede, mas percebeu-se uma dificuldade adicional no estabelecimento de uma correlação entre os locais que necessitam de manutenção, as características físicas locais e a mancha de inundação, o que inviabilizou 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 anterior 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 mesmo dentro da mancha de inundação.

Para execução da limpeza de 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 excluindo-se o comprimento equivalente ao interceptor substituído.

A Figura 2a apresenta um esquema do procedimento proposto para avaliação de danos a este setor enquanto que a Tabela 1 descreve o conjunto de dados necessários para a execução da avaliação.

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 02 (duas) bocas-de-lobo e 01 (um) poço de visita a cada 100 metros de rede.

Foi disponibilizado em Belo Horizonte um mapa com a localização aproximada dos locais mais afetados pela inundação ocorrida em janeiro de 2009. A partir do mapeamento desse evento foi feita a estimativa dos comprimentos de vias danificadas na área da Unidade Regional Administrativa do Barreiro, tendo esta informado danos a 40 bocas-de-lobo e algumas grelhas perdidas em virtude do evento. O mapa da regional juntamente com o mapeamento das áreas inundadas executado pela Defesa Civil de Belo Horizonte possibilitou estabelecer uma correlação entre as características da inundação com a quantidade de componentes da rede de drenagem danificados dentro da área.

A confirmação da proporção de elementos com necessidade de reparos obtida 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 da regional do Barreiro estavam na mesma ordem de grandeza dos encontrados para os municípios do sul de Minas, apresentando, assim, coerência na análise efetuada.

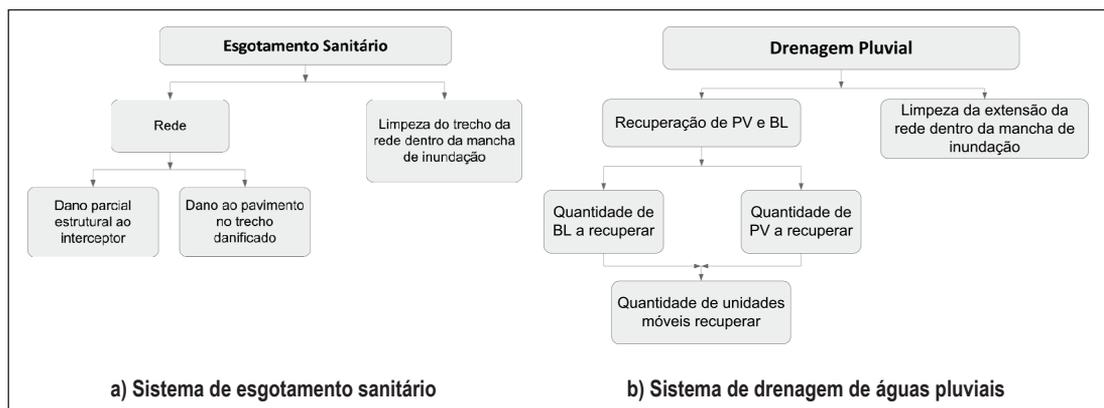


Figura 2 – Fluxograma do procedimento de avaliação de danos.

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 (Policloreto de Vinila) 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.

Da mesma forma vários outros custos não se encontram relacionados e não são catalogados ou permanecem na memória dos responsáveis pela manutenção. Esses itens 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 íntegras 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 hidrovácuo 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. 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.

Para a recuperação de bocas de lobo e poços de visita foi considerado o 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.

O fluxograma da Figura 2b apresenta esquematicamente o procedimento proposto para avaliação de danos ao sistema de drenagem pluvial e a Tabela 1 o detalhamento do procedimento para obtenção dos custos necessários para a estimativa dos danos.

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 ideia de que isso não chega a ser representativo em área urbana, diferentemente do que ocorre em área rural.

Assim, o fluxograma da Figura 3 e a Tabela 1 ilustram o procedimento proposto para a avaliação dos danos a este setor. Esse procedimento considera a substituição de todos os medidores das unidades consumidoras inseridas dentro da mancha de inundação com altura de água de 1,5m ou superior. 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, sendo que para esse cálculo utilizou-se a densidade populacional dada pelo IBGE (2008) considerando cada habitação com 4 (quatro) pessoas em média, e em edifícios residenciais os medidores localizam-se no pavimento térreo;
- ≡ Estimativa da média de custo dos medidores monofásico, bifásico e trifásico;
- ≡ Estimativa da porcentagem de medidores de cada categoria de medição.

Manejo de resíduos sólidos urbanos

Para a elaboração desse tópico da sistemática proposta considerou-se o município como responsável pelo serviço de limpeza urbana do município, incluindo a retirada de móveis e demais objetos e depositados nas calçadas após a inundação, e a remoção dos sedimentos e lixo carreados durante a mesma que ficaram depositados 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.

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 se consolidou o fato de que foi retirado de cada residência atingida pelo menos um caminhão de 6m³ 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 tipo de maquinário utilizado foi possível estimar o volume de material produzido. Para a cheia de 2000 foram utilizados: 3 carregadeiras; 2 retroescavadeiras; 3 patrôlas; 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 possibilitou 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 dos tipos e modelos 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 pela caçamba frontal das retroescavadeiras. Assim, para uma capacidade de 57m³/h para as retroescavadeiras e de 112m³/h para as carregadeiras, obteve-se um volume total de 450m³/h. Considerando o trabalho durante 24 horas num período de 7 dias, o volume total removido é de 75.600m³.

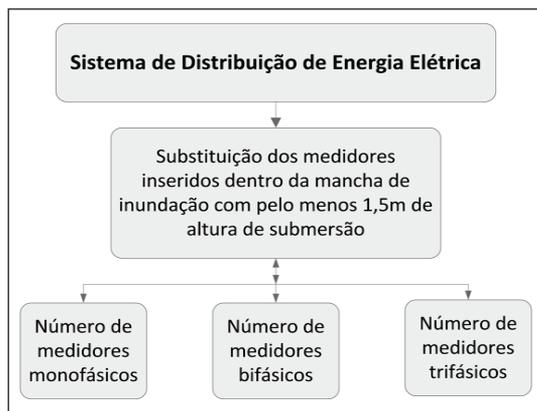


Figura 3. Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de distribuição de energia elétrica.

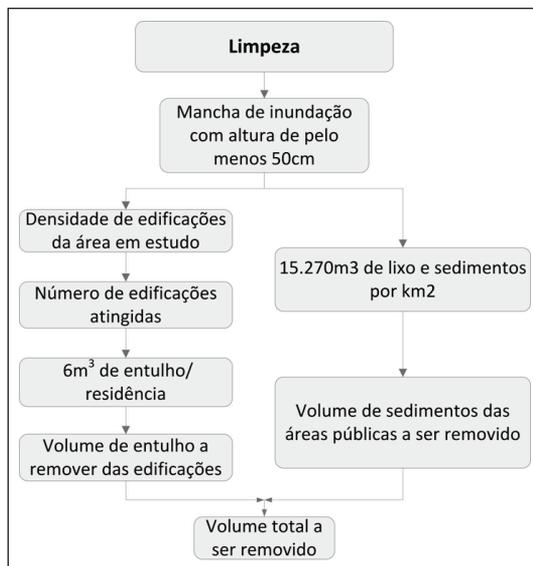


Figura 4. Fluxograma do procedimento de avaliação de danos diretos ao sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

Considerando que cada residência gerou 1 caminhão de 6m³ de entulho, 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 15.270m³/km² dentro da área inundada, podendo este valor ser extrapolado para outras situações.

A Figura 4 e a Tabela 1 apresentam de forma resumida o processo de determinação dos custos gerados pela limpeza após a inundação. Ressalte-se que eles são compostos por duas parcelas distintas, ligadas às edificações e a áreas públicas.

Pela análise dos documentos e dos relatos obtidos foi possível concluir que grande parte dos danos ao sistema viário ocorre na área onde a declividade é alta e não existe rede de drenagem. No caso de Itajubá, uma característica específica possibilitou outra conclusão distinta: como praticamente toda a área sujeita a inundação possui declividade baixa, com valores inferiores a 1%, 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 da base do pavimento e o descolamento da mesma com a consequente perda total ou parcial desse elemento.

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 supracitadas. Tomou-se como base os AVADANs 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 esses dois municípios apresentou uma variação de 9,9% até 6,0% respectivamente para Itajubá e Santa Rita do Sapucaí para a área ocupada por vias que ficaram 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 prevista 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 a avaliação dos danos diretos observados no sistema viário em virtude das inundações é necessário, primeiramente, caracterizar o sistema em relação ao material construtivo do mesmo e a densidade de vias na região em estudo.

A Tabela 1 apresenta, então, a descrição das informações para a determinação dos danos ao sistema viário, juntamente com os elementos utilizados nos demais sistemas.

Procedimentos Complementares

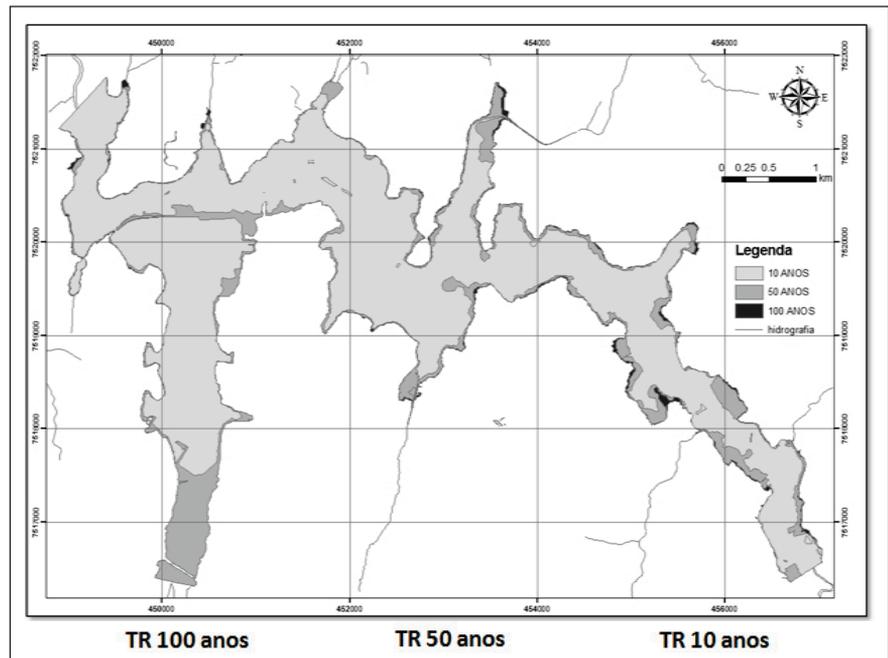
Para análise dos danos ao município foram obtidas as características das inundações previstas para três períodos de retorno com a situação de ocupação atual. Para o período de retorno de 10 anos a vazão prevista é de 268m³/s, para 50 anos de período de retorno a vazão é de 357m³/s e para 100 anos a vazão é de 394m³/s (IGAM, 1999).

De posse de dados digitais fornecidos pela prefeitura municipal e pela concessionária de serviços de saneamento do estado de Minas Gerais foram gerados os níveis de informação necessários à aplicação da sistemática de avaliação de danos.

TABELA 1
Descrição dos elementos dos sistemas para determinação dos custos dos danos

ABASTECIMENTO DE ÁGUA		
Captação		
Conjuntos motor-bomba	Quantidade e 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, Diâmetro e Material construtivo:		Custo por metro linear em reais
Distribuição		
Volume de água tratada armazenada:		Custo do m ³ de água em reais
Travessias	Número, Diâmetro, Extensão e Material construtivo	Custo de substituição por metro linear em reais
Rede de tubos	Extensão	Custo de limpeza por metro linear de rede em reais
	Volume de água	
ESGOTAMENTO SANITÁRIO		
Rede		
Extensão, Diâmetro e Material construtivo do interceptor	Substituição de 5% da rede no trecho do interceptor	Custo de substituição em reais por metro de rede
Pavimento		
Material construtivo	Recomposição do aterro, base e pavimento	Custo em reais por m ² 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		
DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS		
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 e Diâmetro médio da rede		
Identificação do revestimento do pavimento		
Elementos danificados		
Número de bocas de lobo	0,02 un/m	
Número de poços de visita	0,01 un/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	Custo unitário em R\$ correspondente ao número de elementos danificados 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		

FIGURA 5.
Manchas de
inundação
para diferentes
períodos de
retorno cenário
atual (Milograna,
2009).



Os níveis de água do rio Sapucaí em 21 seções topobatimétricas foram obtidos por modelagem hidrodinâmica e as manchas de inundação foram obtidas pela conjugação dos níveis de água com o modelo digital do terreno (MDT) gerado a partir de curvas de nível espaçadas de 1 metro conforme pode ser visto na Figura 5 (Milograna, 2009 e Milograna *et al.*, 2011).

Os dados de uso e ocupação foram obtidos pelo mapeamento digital com divisão de vias, lotes e quadras, e pela manipulação de fotografias aéreas (ortofotos) obtidas junto à prefeitura municipal de Itajubá.

RESULTADOS

O município de Itajubá conta com uma área urbana de aproximadamente 24km² cortada pelo rio Sapucaí numa extensão de 12 km e ao longo de cerca de um século sofreu 13 (treze) eventos de inundação com transbordamento da calha do rio Sapucaí, acarretando sérios prejuízos. A última e mais grave inundação no município ocorreu em janeiro de 2000, na qual aproximadamente 70% da área urbana foi atingida. Para esse evento foi

estimada uma vazão de pico da ordem de 390m³/s (Machado, 2005).

A Tabela 2 apresenta as superfícies ocupadas pelas manchas de inundação previstas para cada período de retorno adotado na análise (Milograna, 2009), possibilitando a obtenção dos custos dos danos diretos aos setores habitacional, comercial e de serviços, conforme a metodologia proposta por Machado (2005). Já para a obtenção dos danos diretos à infraestrutura urbana, aplicou-se a sistemática aqui proposta, tendo sido obtidos os valores constantes da Tabela 3 com valores estimados para janeiro de 2013.

A distribuição dos danos diretos para os setores determinados encontra-se ilustrada nos gráficos da Figura 6, enquanto a distribuição dos danos a cada sistema encontra-se ilustrada nos gráficos da Figura 7. Os custos dos danos correspondentes a cada setor para janeiro de 2013 encontram-se na Tabela 4.

A aplicação da sistemática no município de Itajubá mostrou que em torno de 50% dos danos à infraestrutura urbana estão no sistema viário, sendo seguido do manejo de resíduos sólidos com aproximadamente 23% do total de danos. Os sistemas menos impactados são os sistemas de distribuição de energia elétrica e drenagem de águas pluviais.

TABELA 2
Áreas das superfícies ocupadas pelas manchas de inundação para os períodos de retorno selecionados (Milograna, 2009)

TR em anos	Superfície ocupada (km ²)	Parcela da área do município inundada (%)
100	11,10	46,25
50	10,88	45,33
10	9,07	37,79

TABELA 3
Custos dos danos para cada período de retorno em milhões de Reais

TR(anos)	Infraestrutura	Habitação	Comércio e serviços	Total
100	20,69	131,70	148,33	300,71
50	20,21	115,63	131,86	267,70
10	16,57	91,90	82,90	191,36

TABELA 4
Custos dos danos diretos à infraestrutura urbana para cada sistema

Sistema	Custos dos danos em milhões de R\$		
	TR=100anos	TR=50anos	TR=10anos
Viário (VI)	11,06	10,84	9,04
Esgotamento sanitário (ES)	1,27	1,24	1,20
Abastecimento de água (AA)	2,32	2,32	2,05
Drenagem pluvial (DP)	0,52	0,51	0,43
Energia elétrica (EE)	0,61	0,50	0,31
Limpeza (LI)	4,89	4,80	3,53

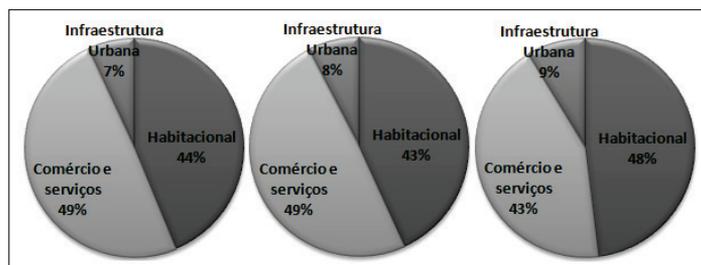


FIGURA 6. Distribuição dos danos diretos para cada setor em cada período de retorno avaliado.

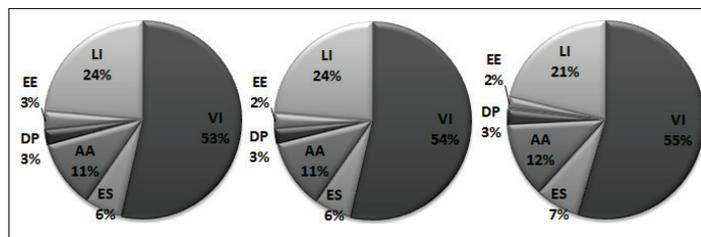


FIGURA 7. Distribuição dos danos diretos à infraestrutura urbana por sistema em cada período de retorno.

CONCLUSÕES

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. A sistemática mostrou-se simples de ser aplicada, necessitando de informações relativas às características da inundação e do sistema instalado. Os resultados mostraram-se coerentes com os valores encontrados na literatura mostrando que a sistemática proposta oferece uma boa referência para a análise de danos em áreas urbanas.

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, e os documentos de avaliação de danos (AVADAN) fornecidos pela Defesa Civil. As informações obtidas por esses dois instrumentos foram as de maior relevância do processo.

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 precariedade de dados anteriores e a aleatoriedade com que ocorrem os danos não permitiram a conciliação dos dados e relatos disponíveis nos municípios consultados com os parâmetros das inundações.

Os resultados da aplicação da sistemática a um estudo de caso mostraram que os danos diretos à infraestrutura são responsáveis por uma parcela não desprezível dos prejuízos decorrentes de inundações nas áreas urbanas, perfazendo aproximadamente 9% dos danos diretos totais.

Os valores encontrados mostraram-se representativos do montante de danos diretos à infraestrutura urbana causados por inundações, mesmo que estes tenham sido determinados em função apenas dos dados levantados e passíveis de correlações nos municípios visitados. Deve-se, no entanto, deixar claro, que os valores e as proporções encontradas podem variar de local para local em função da disposição dos sistemas, da ocupação da área e do relevo existente, podendo mesmo apresentar valores acima dos encontrados, principalmente se incluídos na análise, os danos indiretos tangíveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG pelo apoio à pesquisa.

Referências

- 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 Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Conference interamericaine de génie sanitaire et environnement)*, vol. IV, pp. 523 - 529, AIDIS, México.
- BERZ, G. (2000). "Flood Disasters: Lessons from the Past – Worries for the Future". *Water & Maritime Engineering*, v.142, 3-8.
- 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.
- 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.
- 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.
- MILOGRANA, J. (2009). *Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Brasília, Brasil.
- MILOGRANA, J., BAPTISTA, M.B., POSCH, F. e CAMPANA, N. (2011). *Procedure of urban infrastructure flood damage estimation – Case study of Itajubá, Brazil*. 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre, Brazil
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. (2011). *Panorama do Saneamento Básico no Brasil Investimentos em saneamento básico: análise histórica e estimativa de necessidades – Volume n. V Versão Preliminar*. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental.

MOURA, M. M. (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

MOTA, T. (2008). *Comunicação Pessoal*.

PENNING-ROUSELL, E. C.; CHATTERTON, J. B. (1977). *The Benefits of Flood Aleviation: A Manual of Assessment Techniques*. Gower Technical Press, Aldershot, Royaume-Uni, Inglaterra, 297p.

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.

SENADO FEDERAL (2012). *Balanço Geral dos Danos Causados pelas Chuvas em MG*. Gabinete Senador Clésio Andrade ____ <http://www.clesioandrade.com.br/Paginas/Noticia.aspx?n=143> consulta 19/11/2012.

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.

Jussanã Milograna Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. E-mail: jm@ifg.edu.br

Márcio Benedito Baptista Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: marcio.baptista@ehr.ufmg.br

Néstor Aldo Campana Universidade de Brasília. E-mail: mnestor@unb.br