

Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia

Maria Léa Machado, Nilo Nascimento,
Márcio Baptista, Március Gonçalves,
Adriano Silva, Joelma Costa de Lima,
Rodrigo Dias, Anderson Silva,
Ébio Machado, Wilson Fernandes

RESUMO: O presente trabalho descreve a metodologia e os principais resultados obtidos em uma pesquisa tendo por objetivo o desenvolvimento de curvas padronizadas de danos de inundação versus profundidade de submersão. Curvas desse tipo possibilitam a avaliação global de prejuízos diretos causados por inundações segundo as profundidades de submersão em uma dada área. O trabalho descreve o desenvolvimento de curvas para o setor habitacional, embora pesquisa de que se origina interesse-se também pelos setores comercial, de serviços e industrial. Os dados empíricos utilizados provêm de uma amostragem realizada em Itajubá, uma cidade de 85.000 habitantes, localizada no vale do rio Sapucaí, em Minas Gerais, região Sudeste do Brasil, em 2002. Os dados empíricos sobre classe social da população, características da habitação e de seu conteúdo e os danos causados pela inundação foram obtidos por meio da aplicação de questionários junto à população sinistrada pelo evento de referência, de janeiro de 2000, quando a cidade teve mais de 70% de sua área urbana atingida pela inundação que durou três dias e, em certas áreas densamente ocupadas, atingiu profundidades de submersão superiores a três metros.

PALABRAS-CLAVE: Controle de inundação, danos de inundação, curvas de danos de inundação.

ABSTRACT: The present paper describes the main results of an on-going research aiming to develop standard flood damage data in the form of generic flood-damage curves. This type of curve allows estimating flood damages from the depth of inundation. Although the research project encompasses flood damages on different urban land use activities (residential, commercial, services and industrial land uses), the paper focus on residential flood damage information. The empirical data used on this research was obtained from systematic surveys performed in the city of Itajubá, a town with 85.000 inhabitants located in the Sapucaí river valley in the South-eastern region of Brazil, during the year of 2002. The survey consisted in interviewing residents in the Itajubá flood prone urban area in order to develop a data base characterizing the social class, the building fabric, the contents (inventory items) and the damages caused to dwellings by a reference flood event, the 2000 flood event. During this event, the town had more than 70% of its urban area flooded for three days and, in some densely urbanised areas, the depth of water was superior to three meters.

KEY-WORDS: Flood control, flood damage, flood damage curves

INTRODUÇÃO

As soluções de controle de inundações, em particular as do tipo estrutural, requerem investimentos elevados em implantação e operação. Os custos fixos de implantação são elevados e custos marginais aproximam-se de

zero, sendo longo o retorno do capital investido. A escala ótima do controle de inundação é da ordem de grandeza da população beneficiada e sua oferta é indivisível entre os beneficiários, não sendo usualmente possível

excluir um agente de seu consumo. Os sistemas de controle de inundação operam frequentemente com capacidade ociosa, em função do comportamento estocástico dos eventos hidrológicos.

Tais características econômicas inibem o interesse de investidores privados em prover medidas de controle de inundação, em larga escala, com fins comerciais. Com isso, os investimentos feitos nesse setor são, usualmente, públicos. Pesquisas teóricas e empíricas têm sido realizadas visando promover o desenvolvimento e a aplicação de princípios de eficiência econômica capazes de orientar a decisão do setor público sobre o interesse do investimento, bem como apoio à seleção das alternativas mais efetivas de controle de inundações, capazes de gerar os maiores benefícios. No Brasil, a avaliação e a decisão sobre alternativas de investimentos com esses objetivos são, muitas vezes, feitas sem uma análise econômico-financeira detalhada. Este fato se deve, principalmente, à escassez de informações sistematizadas sobre os danos de inundações (Salgado, 1995).

O presente texto relata e discute resultados de um estudo de desenvolvimento de metodologia para determinação de curvas de danos de inundação, traduzidos em valores monetários, em função da profundidade de submersão (curvas de danos x profundidade de submersão). Esses resultados provêm de uma pesquisa em curso, com financiamento do Fundo Setorial CT-HIDRO e apoio do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), visando particularmente o desenvolvimento de metodologia para a estimativa de danos de inundações para diferentes tipologias de uso do solo urbano, classificadas por setores: habitacional, comercial, de serviços, industrial e de infra-estrutura de serviços públicos.

Curvas como essas, adequadas ao contexto brasileiro, podem ser de grande valia em estudos de avaliação de alternativas de controle de inundação tendo por referência análises econômico-financeiras. Elas constituem-se, igualmente, em síntese relevante de informações sobre os prejuízos potenciais causados por inundações cujo emprego pode ser bastante amplo, notadamente em áreas como o planejamento urbano, a elaboração de planos de

contingência, a proteção local de unidades vulneráveis, entre outras.

Enfoca-se, no presente artigo, o desenvolvimento de curvas de danos x profundidade de submersão para o setor habitacional. Os dados empíricos utilizados na pesquisa foram obtidos a partir de levantamento sistemático de danos de inundação realizado na cidade de Itajubá, no vale do rio Sapucaí, estado de Minas Gerais, Brasil, em 2002, tendo por evento hidrológico de referência a inundação ocorrida, nessa cidade, em janeiro de 2000.

TIPOLOGIA DE DANOS CAUSADOS POR INUNDAÇÕES

Os danos de inundação são, usualmente, divididos, em um primeiro nível de classificação, em tangíveis e intangíveis, e, em um segundo nível, em diretos e indiretos (ver Tabela 1). A distinção entre tangíveis e intangíveis encontra-se relacionada ao grau de dificuldade em estabelecer um procedimento para a avaliação monetária do dano. O prejuízo associado a danos físicos causados a uma construção que tenha sido inundada pode, por exemplo, ser estimado por meio da avaliação dos custos de sua restauração ao estado anterior à inundação. Aqui, tratam-se, portanto, de danos tangíveis, ainda que a avaliação de custos de restauração possa encerrar dificuldades e sutilezas e exigir esforços consideráveis em coleta de dados, elaboração de cenários e estimativa de custos, propriamente dita.

Por outro lado, estados de estresse ou ansiedade causados por inundações, ou pela expectativa de sua ocorrência, são exemplos de danos de difícil valoração monetária, usualmente classificados como intangíveis.

Os danos diretos resultam do contato direto de águas de inundação com bens, sendo, portanto, relacionados à deterioração física de bens. Os danos indiretos têm por origem perturbações causadas ao sistema produtivo como consequência de inundações, levando à redução da atividade econômica, bem como perdas de arrecadação de impostos, custos de serviços de emergência e de defesa civil, custos de limpeza de áreas atingidas, perdas de valor de propriedades, aumentos em valores de seguros, quando existentes para cobrir danos de

TABELA 1.

Tipologia de danos decorrentes de inundações em área urbanas
(adaptado de Hubert e Ledoux, 1999; Dutta et al, 2003 e Penning-Rowse e Chatterton, 1977).






Setor	Danos Tangíveis		Danos Intangíveis	
	Diretos	Indiretos	Diretos	Indiretos
Habitacional	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza, alojamento, medicamentos	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse e ansiedade; danos de longo prazo à saúde
Comércio e serviços	Danos físicos à construção, estrutura e a seu conteúdo Perdas ou danos a estoques	Custos de limpeza Lucros cessantes Desemprego Perda de base de dados	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos de longo prazo à saúde
Industrial	Danos físicos à construção, estrutura, e a seu conteúdo Perdas ou danos a estoques de matéria prima e produtos acabados	Custos de limpeza Lucros cessantes Desemprego Perda de base de dados	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos de longo prazo à saúde
Equipamentos públicos e serviços	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza e de interrupção de serviços Custo dos serviços de emergência	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos de longo prazo à saúde Inconvenientes de interrupção de serviços
Infra-estrutura	Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza e de interrupção de serviços	Perdas de vidas humanas	Inconvenientes de interrupção de serviços
Patrimônio histórico e cultural	Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza e de interrupção de serviços	Perdas de vidas humanas	Inconvenientes de interrupção de serviços

inundação, desemprego ou redução de salários, entre outros.

A literatura científica é mais rica em dados, informações e modelos sobre danos diretos causados ao setor habitacional e, em menor monta, aos setores comercial e de serviços. Para o setor industrial, é corrente encontrarem-se informações sobre indústrias de pequeno porte e pequenos ateliês. O número relativamente pequeno de grandes indústrias, quando comparado ao de habitações, por exemplo, a diversidade de formas de organização e a variabilidade em atualização tecnológica das uni-

dades de produção tornam mais difíceis a obtenção e a síntese de informações sobre o tema.

No setor de serviços públicos, a infra-estrutura sujeita a danos de inundações compreende:

-  Saúde: hospitais, clínicas, postos de saúde, asilos;
-  Ensino: escolas, creches, colégios, faculdades, universidades;
-  Esportes: estádios, ginásios, piscinas;
-  Lazer: praças, parques, jardins públicos;
-  Sócio-culturais: teatros, cinemas, salas de concerto, museus, centros culturais;

- ☒ Redes: viária; elétrica, gás, água, esgoto, telefone, equipamentos (estações de tratamento de águas de abastecimento, estações de tratamento de esgotos, subestações de energia elétrica etc);
- ☒ Outros: correios, prefeitura, tribunais, etc.

A ruptura ou a perturbação de alguns desses serviços, em muitos casos resulta em perturbação e prejuízos em outros serviços e setores de atividade, implicando freqüentemente em danos indiretos e, por vezes, em danos diretos. É o caso da ruptura de redes, como energia elétrica ou abastecimento de água, ou a interrupção de serviços de saúde durante estados de crise causados por inundações.

Do mesmo modo, deve-se ter em conta que a redução de atividade econômica em uma área sinistrada pode resultar no aumento da atividade econômica em outras áreas, não atingidas pela inundação, e capazes de suprir o mercado com os mesmos tipos de produto.

A avaliação de danos indiretos requer atenção particular ao fato de que algumas perdas podem ser circunstanciais, ocorrendo, eventualmente, compensações entre agentes econômicos, durante o período de crise causado pela inundação ou, para um mesmo agente, ao longo do tempo. Certos mercados, como o de materiais de construção civil, ampliam-se temporariamente durante o período de reconstrução. Por outro lado, a redução da atividade comercial em alguns setores, como o de supermercados ou o comércio de medicamentos, pode ser temporária, decorrendo tão somente de uma transferência de compras para um futuro próximo, uma vez superado o período de crise causado pela inundação. A transferência de aquisições pode se fazer também, de forma circunstancial ou permanente, para estabelecimentos comerciais localizados fora de zonas sinistradas. Nesse caso, a perda para a sociedade não corresponde ao lucro cessante de estabelecimentos sinistrados individuais, uma vez que a interrupção de vendas em um local é compensada pelo aumento de vendas em outro. Aqui, a avaliação de prejuízos deve ter em conta as perdas sociais e não as individuais.

Por outro lado, danos indiretos podem entender-se por áreas muito superiores às direta-

mente sinistradas pela inundação, como é o caso de eventuais perturbações sobre processos produtivos em indústrias localizadas em outras áreas e mesmo em outros países, quando dependentes de produtos oriundos de áreas sinistradas por inundação.

Os danos indiretos são estimados por meio de coleta de dados em áreas sinistradas por inundações. Esforços devem ser desenvolvidos para estimar apenas os prejuízos efetivos decorrentes de danos indiretos causados pelas inundações, traduzidos em valores monetários, uma tarefa delicada e difícil tendo em vista os efeitos de compensação acima mencionados e a complexidade de processos produtivos e de comercialização da atualidade.

AValiação DOS IMPACTOS SÓCIO-ECONÔMICOS DE INUNDAÇÕES

A avaliação dos impactos sócio-econômicos de inundações pode fazer-se segundo três procedimentos metodológicos distintos, por vezes denominados métodos conceituais, métodos deterministas ou de avaliação direta e análise de vulnerabilidade (Hubert e Ledoux, 1999).

Métodos conceituais

Os métodos ditos conceituais, usualmente fundamentados no conceito de excedente do consumidor, incorporam técnicas de análise econômica desenvolvidas com o fim de valoração de ativos ambientais ou de prejuízos causados por poluição do meio, como os métodos de avaliação contingente e hedônica. Supõe-se que o mercado é capaz de incorporar o risco de inundação sendo necessário apenas aplicarem-se procedimentos adequados para revelar o valor por ele atribuído a esse tipo de risco.

Uma das principais vantagens atribuídas a tais métodos seria sua capacidade de incorporar à estimativa de prejuízos causados por inundações tanto danos tangíveis quanto intangíveis. Porém, em razão de dificuldades de aplicação e de incertezas associadas, estudos desta natureza têm sido desenvolvidos com maior freqüência em contexto acadêmico.

Os métodos conceituais, como os de avaliação contingente ou análise hedônica, funda-

mentam-se na hipótese de que o controle de inundações é um bem para o qual existe uma certa demanda na sociedade, conduzindo a uma disposição a pagar pelo mesmo. O método de análise hedônica procura identificar e quantificar tal disposição a pagar por intermédio do mercado imobiliário, pressupondo que compradores e vendedores possuem informações suficientes sobre o risco de inundação, os danos diretos, indiretos e intangíveis decorrentes de inundações, bem como sobre a redução do risco de inundação efetivamente obtida com a adoção de medidas de controle.

Pressupõe-se, portanto, a incorporação pelo mercado imobiliário dos custos infligidos a imóveis localizados em áreas inundáveis, como os custos de manutenção, recuperação e reposição do espaço construído e de seu conteúdo. O método pode ser aplicado em ausência de medidas de controle de inundações, comparando-se valores de mercado de imóveis localizados em áreas sujeitas a inundação com valores de imóveis semelhantes localizados em zonas urbanas equivalentes sob aspectos capazes de influenciar o valor do imóvel (infra-estrutura urbana, acesso, segurança, ...), com a distinção de serem áreas não inundáveis. A diferença entre os valores de imóveis de características equivalentes, porém localizados em zonas distintas quanto ao risco de inundação, revelaria o custo da inundação ou, em outros termos, o benefício da redução do risco de inundação em áreas inundáveis.

Uma alternativa de aplicação do método seria a de avaliar, ao longo do tempo, a evolução de valor de mercado de imóveis localizados em áreas sujeitas a inundação, antes e após a adoção de medidas de controle. A hipótese desse enfoque é a de que a redução de danos causados por inundações produz uma redução equivalente nos custos de manutenção, recuperação e reposição de bens da propriedade, usualmente cobertos pelos proprietários. Esta redução de custos seria, em consequência, capitalizada no valor da propriedade. O aumento do valor da propriedade pode ser utilizado como uma aproximação do benefício das medidas de controle de inundação.

As principais dificuldades de emprego do método de análise hedônica decorrem da incerteza em atribuírem-se diferenças estatísticas even-

tualmente identificadas entre valores de mercado de bens imóveis a causas relacionadas com prejuízos realizados ou potenciais de inundações. Uma outra limitação do método é sua dependência da memória de inundações passadas. Um longo período sem inundações produz frequentemente o efeito de esquecimento ou de negligência do risco de inundação e, como resultado, a sua provável não incorporação aos valores de mercado dos bens imóveis expostos.

No método de análise contingente, procura-se construir uns mercados hipotéticos para avaliar o bem “controle de inundação” junto a habitantes ou ocupantes de áreas inundáveis. Usualmente com o auxílio de questionários e de painéis explicativos, busca-se fazer emergir a disposição da população concernida a pagar por medidas de controle de inundações. Para tal, é necessário construir cenários hipotéticos, porém plausíveis, de ações de controle de inundação e elaborar material explicativo, claro e sintético, destinado a público leigo, sobre a redução do risco que se poderá obter com a implementação de tais ações. É com base nesses cenários que a população consultada poderá revelar sua disposição a pagar.

Como no caso do método de avaliação hedônica, a avaliação contingente depende da memória de inundações passadas e da percepção de risco de inundação por parte da população concernida. É importante, portanto, combinar à pesquisa sobre disposição a pagar estudos de percepção de risco. Um outro elemento metodológico importante, com potencial para enviesar resultados de emprego do método, é a referência de cobrança que seria hipoteticamente adotada para o pagamento da redução do risco de inundação. A título de exemplo, relatam-se dificuldades de expressão da disposição a pagar quando se adota o aumento de impostos como base de cobrança. É comum que entrevistados considerem a carga tributária como elevada, devendo incluir o financiamento de ações de controle de inundação. Não se encontram, em consequência, dispostos a aceitar um aumento no valor dos impostos.

Métodos de avaliação direta

Nos métodos de avaliação direta, busca-se elaborar uma descrição detalhada e precisa do

conjunto de impactos gerados por inundações, tomando por base inventários de danos em zonas sinistradas (avaliação *a posteriori*) ou construção de cenários de danos a partir da definição detalhada de patologias causadas por inundações (avaliação *a priori*). Procuram-se estabelecer relações funcionais entre os danos de inun-

dações e variáveis hidráulicas associadas à submersão por inundação, tais como a profundidade, a duração e a velocidade de escoamentos (Figura 1). A avaliação direta pode compreender tanto danos diretos quanto indiretos, embora os maiores progressos metodológicos tenham se dado no caso dos danos diretos.

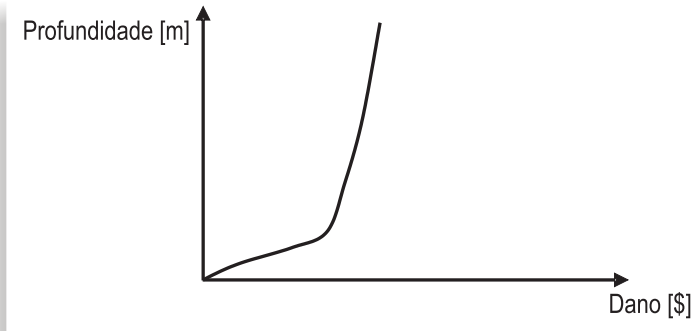


Figura 1. Exemplo hipotético de curva de dano versus profundidade de submersão

A construção de curvas de danos versus profundidade de submersão (DPS) é bastante trabalhosa, quando se considera a variabilidade dos danos expostos, mesmo para um único setor, como o habitacional. Um dos trabalhos mais detalhados de construção desse tipo de função foi realizado para a Inglaterra e País de Gales (Penning-Rowse e Chatterton, 1977), para os setores habitacional, comercial, de serviços, industrial e agrícola, com base em análise *a priori* de danos. Outro exemplo, mais recente, é o trabalho de Dutta et al (2003).

Além das dificuldades de estabelecimento de curvas DPS, deve-se ter em conta sua validade relativamente curta, principalmente em razão do progresso tecnológico que pode implicar em mudanças de padrões e de métodos construtivos, bem como de diversidade de tipos, modelos e quantidade de bens de conteúdo (móveis, eletrodomésticos, máquinas e equipamentos de escritório ou industriais, etc). Outro fator de desatualização pode estar associado a mudanças de mercado. Por exemplo, aumentos de valor imobiliário do solo podem conduzir a um uso mais intenso das áreas construídas tanto no setor habitacional como no de comércio e serviços, resultando em uma

maior quantidade de bens de conteúdo expostos por unidade de área.






Análise de vulnerabilidade

Em termos mais tradicionais, a análise de vulnerabilidade busca estabelecer uma associação entre a aleatoriedade do evento hidrológico (risco hidrológico), os bens expostos, os danos potenciais decorrentes da ocorrência de um evento hidrológico de certa magnitude e os recursos disponíveis para fazer face ao risco (antecedência para agir, capacidade física das pessoas expostas, meios financeiros para recuperar áreas atingidas, cobertura de seguros,...). No conceito clássico, muitas vezes a vulnerabilidade é traduzida em termos financeiros, admitindo-se que quanto maior os prejuízos causados por uma inundação maior a vulnerabilidade da área inundável em foco. Esse enfoque tradicional da análise de vulnerabilidade tem sido frequentemente questionado como redutor apenas a sua dimensão econômica e financeira de um problema complexo, com reflexos sociais, políticos e ambientais importantes.




Na atualidade, nota-se uma tendência a avaliar a vulnerabilidade como uma expressão da fra-









gilidade de um sistema sócio-econômico face ao risco. Nesses termos, a análise visa identificar a propensão do sistema a sofrer danos, em caso da ocorrência de um evento raro, e sua capacidade a resistir a um impacto dessa natureza (Hubert e Ledoux, 1999). Para Theys e Fabiani (1987), a vulnerabilidade mede a capacidade de sistemas interdependentes a funcionar de forma adequada, absorvendo as perturbações exteriores, mesmo as mais imprevisíveis. Nesse tipo de enfoque, não se utilizam, por exemplo, funções de custo como as descritas em parágrafos anteriores.

Para Torterotot (1993), a vulnerabilidade é um conceito relativo que exprime a associação entre:

-  o evento aleatório, expresso por variáveis como a profundidade e a duração de submersão, a velocidade de subida das águas;
-  os bens expostos, caracterizados por sua quantidade e natureza;
-  as atividades desenvolvidas na área inundável;
-  a fragilidade dos bens à submersão e
-  os recursos disponíveis para limitar os impactos, tais como o tempo de antecedência disponível para o alerta, a capacidade física e financeira dos responsáveis para agir, a existência de cobertura de seguros, entre outros.

Há, portanto, nesse conjunto de conceitos uma distinção entre a vulnerabilidade econômica, traduzida por prejuízos potenciais ou realizados, e a vulnerabilidade social e política, relacionada à capacidade e organização para superar a crise. Nesse sentido, são fatores determinantes da vulnerabilidade:

- Fatores intrínsecos:
 -  A qualidade da construção e seu estado de conservação;
 -  A eventual adoção de medidas construtivas locais para a redução dos danos causados por inundações (em Inglês, “flood proofing”);
 -  A implantação de construções (e.g.: estruturas hidráulicas, tubulações, edificações), tal que deixem desimpedido o escoamento das cheias nos principais eixos em que ele ocorre;

- Fatores relacionados à gestão da crise:
 -  A existência de sistema de previsão e alerta de cheias;
 -  A organização social como expressão de uma cultura do risco – convivência com as inundações;
 -  Os modos e os meios para a gestão da crise, claramente definidos em planos de contingência;
 -  A capacidade financeira para financiar as ações requeridas durante a inundação;
- Fatores relacionados à gestão pós-crise:
 -  A capacidade de reação técnica e os meios técnicos para recuperar a infra-estrutura danificada e restabelecer o funcionamento dos serviços, em particular os serviços públicos essenciais;
 -  A capacidade financeira para financiar as ações requeridas após a inundação;
 -  A capacidade organizacional da sociedade e de suas instituições;
 -  A existência de seguros e de mecanismos de coleta e transferência de ajudas.

A análise de vulnerabilidade é usualmente realizada com base no emprego de indicadores. Exemplos de indicadores utilizados podem ser encontrados em Hubert e Ledoux (1999); exemplos de procedimentos para a análise de vulnerabilidade podem ser encontrados em Agence de l'Eau e Ministère de l'Amenagement du Territoire et de l'Environnement (1998).

AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DO CONTROLE DE INUNDAÇÕES

Quando se adota um enfoque custo-benefício para a análise de medidas de controle de inundação, o benefício é feito igual ao custo marginal dos danos evitados. Com base nesse enfoque, admite-se que além de um dado nível de controle (e.g.: evento de projeto para um tempo de retorno dado), todo esforço suplementar de redução de risco é mais custoso que o benefício auferido. A Figura 2 ilustra, graficamente, um procedimento de cálculo de benefício de uma medida de controle de inundação com o emprego de uma curva DPS.

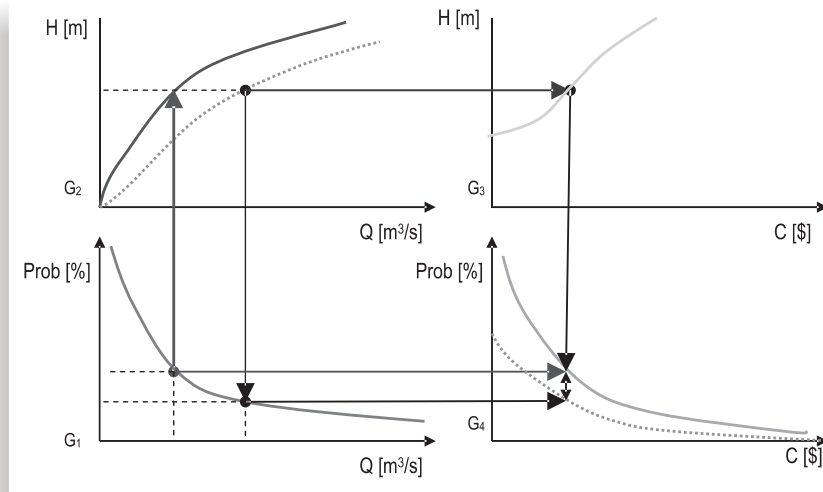


Figura 2. Exemplo hipotético de cálculo de benefício de controle de inundação com o emprego de curva DPS

No exemplo da Figura 2, os gráficos G_1 e G_2 são produtos de análise hidrológica e hidráulica tradicionais. G_1 relaciona valores de vazão em uma dada seção de um curso d'água a probabilidades de excedência e decorre de estudos de análise de frequência de eventos extremos. G_2 é uma representação gráfica da relação cota-descarga em uma seção de curso d'água. A curva contínua representa a relação cota-descarga atual, a curva pontilhada ilustra a nova relação cota-descarga que poderia ser obtida em se adotando a medida de controle em foco. Nesse caso, nota-se que a capacidade de transporte de vazões do curso d'água aumenta, o que pode resultar de intervenções estruturais de canalização, por exemplo.

G_3 é uma curva DPS síntese da relação entre danos, expressos em termos monetários, e cotas de inundação para a área em estudo, ou seja, trata-se de uma curva representativa do conjunto dos danos. O gráfico G_4 é a função de probabilidade de excedência dos danos de inundação, para a área em foco, expressos em valores monetários. A integral dessa função, área sob a curva, corresponde à esperança matemática de prejuízos de inundação, em base anual. A curva contínua representa a função custo-probabilidade de excedência, para a situação atual, e a curva pontilhada a nova função custo-probabilidade de

excedência, caso se implante a medida em estudo. A diferença das integrais das duas curvas fornece o benefício de implantação da medida, também em bases anuais. A integral da função representada pela curva pontilhada fornece o custo residual resultante de inundações que excedem a capacidade de controle da medida adotada.

No contexto da análise custo-benefício, a estimativa dos custos de implantação de alternativas de controle de inundações apresenta, em comparação com a avaliação dos benefícios, uma relativa facilidade de realização, as maiores incertezas concentrando-se em estimativas de custos de:

- ▣ operação e manutenção de sistemas estruturais;
- ▣ serviços de emergência;
- ▣ operação de sistemas não estruturais complexos que combinem, por exemplo, sistemas de previsão e alerta com soluções difusas de proteção individual em áreas inundáveis chamadas “flood proofing”;
- ▣ implantação e manutenção de medidas não estruturais difusas na bacia hidrográfica, como a reconstituição da cobertura vegetal, o controle de erosão, a renaturalização de cursos d'água, entre outras.

Nos próximos parágrafos, descreve-se a metodologia e os resultados obtidos em uma pesquisa visando a construção de curvas DPS por meio de um estudo de caso no Brasil.

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE DANOS DE INUNDAÇÃO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE SUBMERSÃO

Conforme mencionado, dois enfoques principais podem ser adotados para a construção de curvas de danos x profundidade de submersão (curvas DPS): (i) elas podem ser desenvolvidas a partir de uma síntese de dados sobre danos reais obtidos por amostragem em zonas sinistradas (e.g.: Torterotot, 1993), ou (ii) a partir de estimativas de danos hipotéticos, estabelecidos *a priori*, com base em expertise sobre os efeitos potenciais de inundações sobre a construção e seu conteúdo (e.g.: Penning-Rowsell e Chatterton, 1977).

O método *a posteriori* permite avaliar, igualmente, a eficiência dos serviços de socorro e emergência, a capacidade de gestão de crise pelos organismos responsáveis, a efetividade de aplicação dos planos de contingência, quando existentes, o comportamento de pessoas sinistradas e a capacidade de organização da sociedade civil para fazer face à situação de crise e a gestão pós-crise. Podem ser, igualmente, identificadas ações de iniciativa individual visando a redução de danos, em particular mudanças na construção, como a substituição de materiais de revestimento, a instalação de comportas em portas e janelas, bem como mudanças na disposição de móveis, na área habitacional e de estoques nas áreas comercial e industrial. Ademais, é possível, para eventos conhecidos, identificarem-se os mecanismos de ajuda a pessoas sinistradas, provenientes de diferentes fontes e organizações governamentais ou não, e estimar a ajuda financeira disponibilizada.

Avaliação *a priori* dá lugar a construção de modelos de danos para diferentes setores a partir de esforços conceituais de reprodução de processos de aparecimento de impactos. As curvas DPS assim obtidas, após validação, constituem-se em modelos gerais, potencialmente aplicáveis a contextos bastante distintos em um

mesmo país, posto que não existam grandes diferenças de nível de desenvolvimento entre regiões distintas.

A metodologia empregada no presente trabalho procura combinar os dois enfoques, tendo em vista, por um lado, a constituição de uma referência empírica para a construção das curvas e, por outro lado, a busca de generalizações que venham a permitir, no futuro, o emprego de curvas semelhantes em contextos distintos. Para tal, procedeu-se à identificação de danos decorrentes de um evento de inundação de referência em uma zona sinistrada, previamente escolhida, por meio de aplicação de questionários, buscando-se constituir uma amostragem representativa das distintas profundidades de submersão registradas e dos diferentes padrões de uso do solo presentes. O dimensionamento da amostra encontra-se descrito no próximo item. Uma breve descrição do conteúdo dos questionários encontra-se no Anexo 1.

No setor habitacional, os danos de inundação estão relacionados, entre outros fatores, à qualidade da construção, à área construída, ao estado de conservação da construção e a seu conteúdo, por sua vez caracterizado pela quantidade, tipo, qualidade e idade de bens duráveis expostos, tais como, móveis, eletrodomésticos e elementos de decoração. Como esses fatores encontram-se por sua vez relacionados ao poder aquisitivo dos moradores, espera-se que as curvas DPS apresentem uma certa dependência dessa variável. Torna-se, portanto, relevante investigar o comportamento das curvas DPS em face das possíveis associações funcionais entre os mencionados fatores, potencialmente ligados aos danos de inundação, e o indicador de poder aquisitivo. No presente trabalho, essa investigação foi realizada a partir dos dados obtidos pela aplicação dos questionários. A classe sócio-econômica do morador, obtida pela aplicação do *Critério Brasil* (ABIPEME, 2003), foi empregada como um indicador indireto de poder aquisitivo. O *Critério Brasil* adota cinco classes sócio-econômicas (A, B, C, D e E), em ordem decrescente de poder aquisitivo, tendo por base informações relacionadas a itens de conforto familiar (posse de bens de consumo duráveis), ao grau de instrução do chefe de família e à utilização de empregados domésticos.

A aplicação de questionários permitiu a descrição detalhada dos danos à construção e a seu conteúdo. Cada questionário encontra-se associado a uma habitação, por sua vez caracterizada pelo padrão construtivo, profundidade de submersão e classe sócio-econômica de seus habitantes.

Os prejuízos à construção foram estimados como custos de reparação dos danos decorrentes da inundação na forma de orçamentos de reforma. Tendo por base a norma brasileira NBR71721 foram estabelecidos 4 níveis distintos de padrão construtivo, a saber: alto, normal, baixo e proletário. O padrão construtivo é classificado por meio de 9 itens considerados os mais relevantes para a caracterização da qualidade da construção: os tipos predominantes de revestimento de paredes externas e internas da construção, cozinha e banheiros, os pisos e acessórios para a cozinha e os banheiros e o material predominante de portas e janelas.

A avaliação dos prejuízos ao conteúdo das habitações teve um componente mais significativo de análise *a priori*. Para cada classe social, estabeleceram-se *a priori* projetos típicos de habitação (plantas baixas) e padrões de conteúdo (móveis, eletrodomésticos, elementos de decoração, etc.). As plantas baixas foram construídas tendo por base projetos típicos de conjuntos habitacionais destinados a distintas faixas de renda balizados por uma investigação empírica sobre a distribuição de áreas construídas em cada classe social.

O conteúdo das habitações foi estabelecido tendo por base o próprio *Critério Brasil* e pesquisas de distribuição de preços de mercado de móveis e eletrodomésticos novos. Os dados empíricos obtidos pela aplicação dos questionários permitiram avaliar a pertinência dos padrões estabelecidos, corrigindo-os quando necessário. A estimativa dos danos ao conteúdo, em função de distintas profundidades de submersão baseou-se em curvas de suscetibilidade à inundação propostas por e Penning-Rowsell e Chatterton (1977). Os valores residuais dos bens do conteúdo das habitações foram estabelecidos com base em sua vida útil e em seu ciclo de renovação em função do poder aquisitivo de cada classe social.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA À CIDADE DE ITAJUBÁ (MG)

O município de Itajubá apresenta grande vulnerabilidade a inundações, tendo a maior parte de sua área urbana localizada na planície de inundação do rio Sapucaí e uma parcela significativa da população urbana, de cerca de 77.000 habitantes (a população total do município, segundo o censo IBGE de 2000, é de 84.135 habitantes), residindo em áreas frequentemente inundáveis – estima-se em cerca de 30.000 habitantes da população residente nessas áreas (Lima, 2003). A cidade localiza-se na planície de inundação do rio Sapucaí, no Sul de Minas Gerais, a cerca de 500 km de Belo Horizonte. A Figura 3 mostra a localização da cidade na bacia hidrográfica o rio Sapucaí, cuja área de drenagem até uma estação fluviométrica localizada a montante da área urbana é de cerca de 800 km².

Ao longo dos últimos 128 anos registraram-se em sua área urbana treze ocorrências de inundações de vulto (IGAM, 1999). Durante a cheia de janeiro de 2000, cuja inundação resultante serve de referência ao presente estudo, mais de 70% da área urbana foi inundada, em alguns locais com profundidades de submersão de até 3 metros e duração superior a três dias. Registraram-se quatro mortes e cerca de 20.000 desabrigados. O tempo de retorno estimado para esse evento foi de 100 anos (Vianna et al, 2001). As Figuras 4 e 5 ilustram, respectivamente, imagens das inundações de 1919 e de 2000.

A cidade de Itajubá foi escolhida, junto com Santa Rita do Sapucaí, como uma das primeiras cidades para a aplicação da metodologia acima descrita, tendo em conta seu nível de desenvolvimento, a diversidade de ocupação urbana que apresenta e as características da inundação de 2000. Em agosto de 2002, realizou-se a aplicação sistemática de 469 questionários no setor habitacional e cerca de 200 nos setores de comércio, serviços e indústria, todos concebidos e aplicados segundo a metodologia aqui descrita.

Para o dimensionamento da amostra, partiu-se do mapa da área inundada pelo evento de referência de janeiro de 2000, produzido pela empresa Companhia de Saneamento de



Figura 4. Itajubá: foto da inunda  o de 1919
Fonte: IGAM, 1999

Figura 3. Mapa da bacia hidrográfica do rio Sapucaí, em Itajubá.
Escala aproximada: 1:515.000





Figura 5. Itajubá: foto da inundação de 2000
Fonte: Defesa Civil, 2000.

Minas Gerais (COPASA, 2001), identificando-se, em cada quarteirão, o intervalo de variação da profundidade de submersão. Dados censitários e informações fornecidas pela Prefeitura Municipal de Itajubá foram utilizados como referência de variação do nível de renda da população em cada quarteirão. A amostra foi dimensionada, *a priori*, adotando-se como diretriz a aplicação de, no mínimo, dois questionários por quarteirão. A escolha das unidades a serem entrevistadas foi feita, em parte, pelo livre-arbítrio do entrevistador, ficando, entretanto, na dependência da disponibilidade do morador para responder o questionário. De forma a evitar vieses de amostragem, um controle diário da distribuição das amostras foi realizado, tendo por critérios a classe social dos entrevistados, as profundida-

des de inundação e a localização espacial das unidades amostradas na área inundada. Como a amostragem estendeu-se por três semanas, esse controle diário permitiu corrigir eventuais sobre ou subamostragens. Todos os quarteirões atingidos pela inundação foram amostrados.

As Figuras 6 e 7 ilustram, para o setor habitacional, a distribuição percentual de classes sociais amostradas e distribuição percentual da amostragem por intervalos de profundidade de submersão e por classe social. A similitude entre as distribuições sugere a adequação da amostragem, mesmo para profundidades superiores a 2,0 m. Nota-se a ausência de amostragem de economias da classe E, um resultado que é típico de cidades de médio porte em áreas mais desenvolvidas, em Minas Gerais.



Figura 6. Itajubá: percentual de questionários por classe social sobre base de 469 questionários aplicados no setor habitacional, em agosto de 2002.

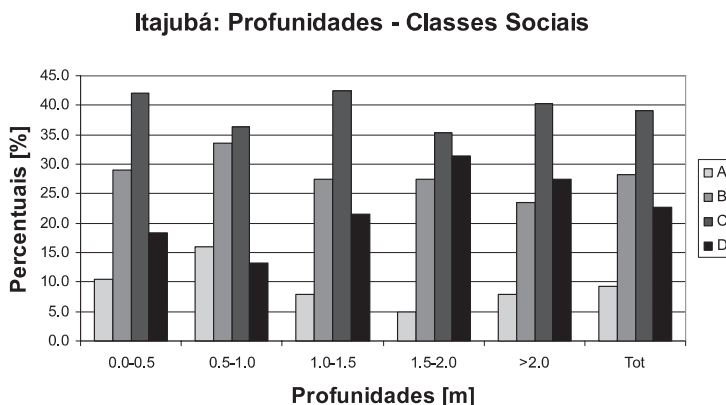


Figura 7. Itajubá: percentual de questionários por classe social e profundidade de submersão sobre base de 469 questionários aplicados no setor habitacional, em agosto de 2002.

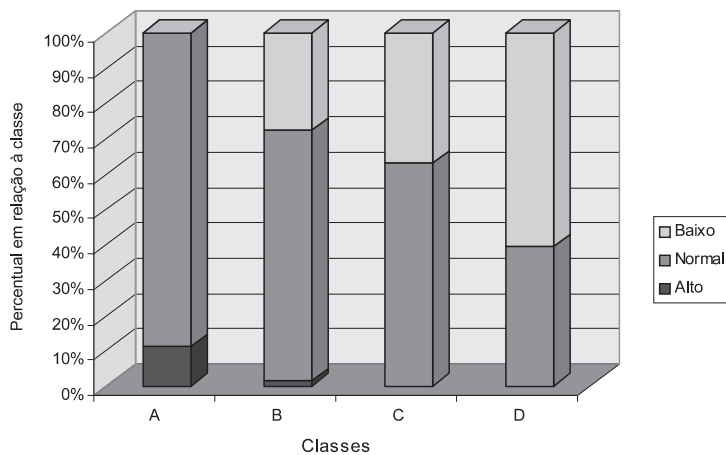


Figura 8. Distribuição de padrões construtivos das residências e a classe sócio-econômica dos moradores na cidade de Itajubá, segundo amostra constituída por 469 questionários aplicados no setor habitacional, em agosto de 2002.

Análises de distribuição de qualidade da construção (Figura 8) e de área construída (Figura 9), por classe social, evidenciaram a

correlação entre essas variáveis e as classes sociais, validando as hipóteses básicas do trabalho e a proposta metodológica.

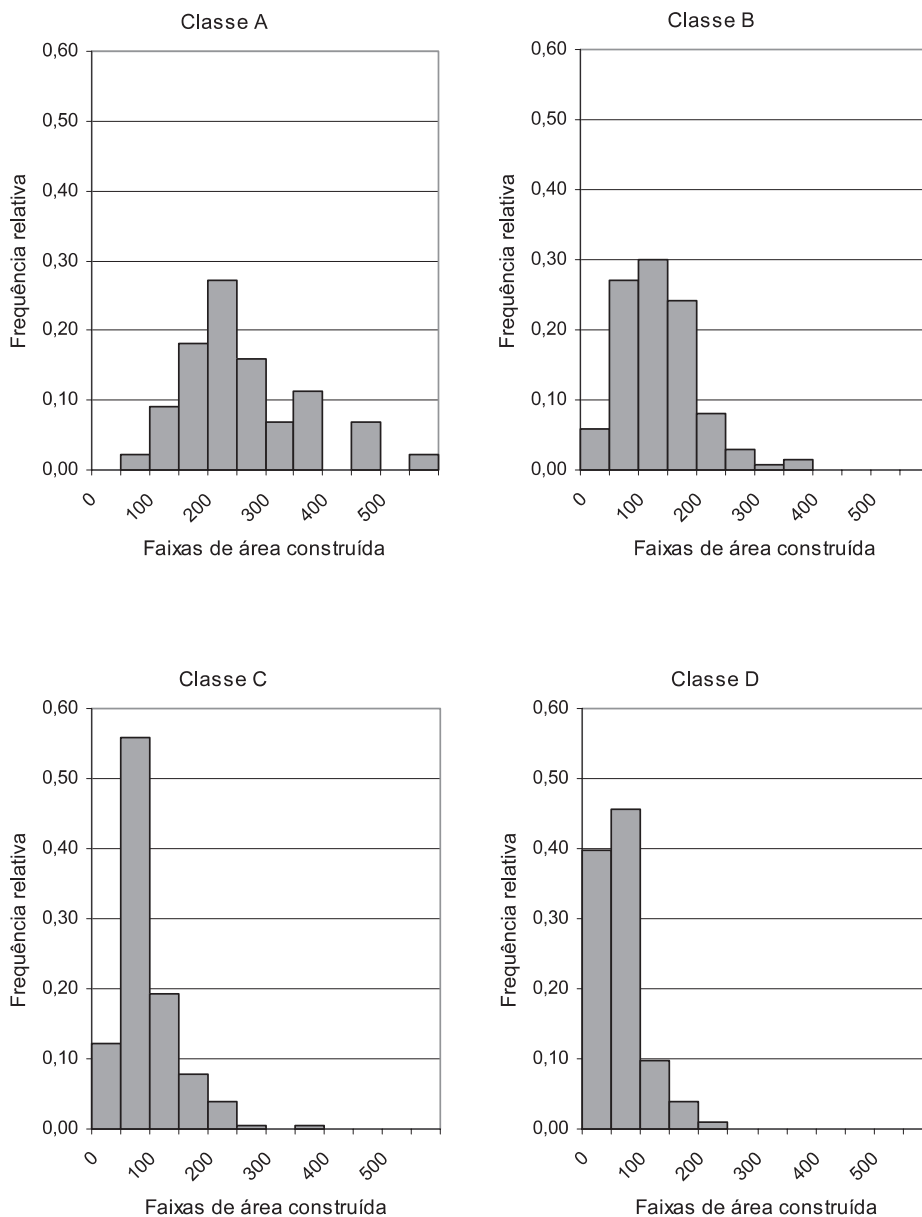
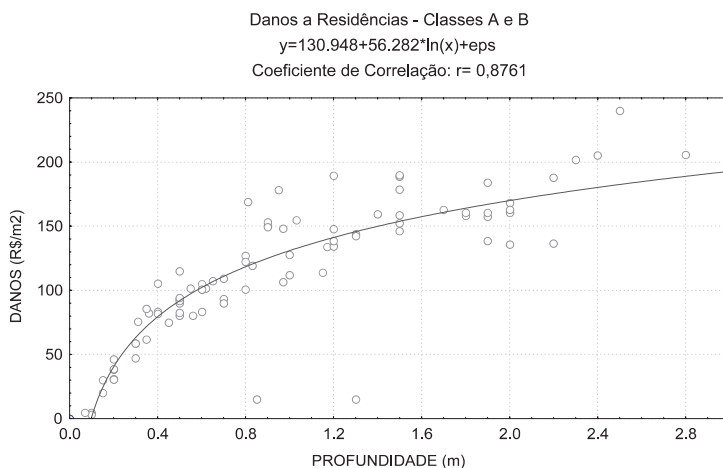


Figura 9. Distribuição de frequência de valores de área construída por classe sócio-econômica, das habitações em Itajubá, segundo amostra constituída por 469 questionários aplicados no setor habitacional, em agosto de 2002.

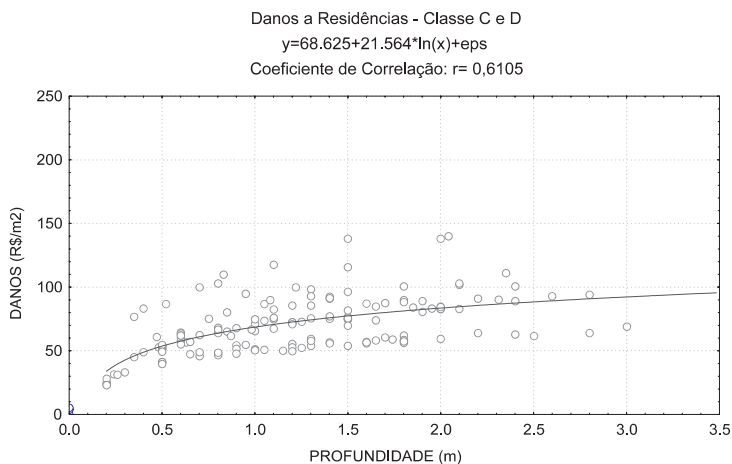
Com base nesses resultados, procedeu-se à construção das curvas DPS, com danos expressos em R\$ por área construída da habitação, em m². Foram construídas curvas individuais para cada classe social. Porém, considerando-se a dispersão relativamente elevada dos dados, em cada classe social, a aparente proximidade de valores de danos entre classes sociais vizinhas,

e os benefícios potenciais para sua aplicação futura de uma eventual redução do número de curvas, realizaram-se análises estatísticas (testes de hipótese, análise de variância) de forma a verificar se os danos obtidos são estatisticamente distintos entre classes sócio-econômicas. Estas análises permitiram agrupar os danos relativos às classes A e B e C e D (Figuras 10 e 11).

Figuras 10. Itajubá: curvas de danos x profundidade de submersão para o setor habitacional e classes sócio-econômicas A e B



Figuras 11. Itajubá: curvas de danos x profundidade de submersão para o setor habitacional e classes sócio-econômicas C e D



A despeito das curvas mostradas nas Figuras 10 e 11 constituírem-se em uma mescla de dados empíricos (danos à construção) e de modelos teóricos (danos ao conteúdo), a dispersão mostra-se elevada, ilustrando as incertezas associadas a esse tipo de metodologia.

As curvas DPS obtidas mostram danos relativamente elevados segundo a profundidade de submersão. A título de exemplo, para a profundidade 1,0 m, supondo-se uma residência com 100 m² de área construída, o prejuízo direto total (construção e conteúdo) seria de aproximadamente R\$ 13.100,00, no caso das classes A e B, ou de R\$ 6.900,00, para as classes C e D.

Esses resultados são indicações preliminares para orientar questões subseqüentes que devem ser investigadas:

- ≈ um esforço de verificação desses resultados com base em prejuízos declarados pelos moradores durante a aplicação dos questionários – essa base de dados foi explorada por Lima (2003), restando elaborar-se um estudo comparativo sobre o tema;
- ≈ a investigação da hipótese de que raramente os habitantes, conseguem, em curto prazo (menos de 5 anos) repor todos os prejuízos causados por inundações.

CONCLUSÕES

A avaliação dos impactos sócio-econômicos causados por inundações constitui-se em fonte fundamental de informações sobre os prejuízos causados, sobre a qualidade e a eficiência das instituições públicas e das organizações privadas para fazerem face a situações de crise e de pós-crise decorrentes de eventos catastróficos de inundação e sobre as alternativas e as oportunidades de redução de riscos e de prejuízos, tendo por origem esse tipo de evento.

Entre as metodologias de avaliação desse tipo de impactos, encontram-se as curvas de danos versus profundidade de inundação, instrumentos mais bem adaptados à estimativa econômico-financeira de custos decorrentes de danos diretos de inundações. Esse tipo de curva é instrumento bem adaptado à análise custo-benefício de alternativas de controle de inundação. Porém, o tipo de informação gerada no decorrer de sua aplicação pode contribuir, de forma significativa, para o emprego de outros instrumentos e políticas visando o controle de inundações e a redução de seus impactos, tais como:

- ≈ o aprimoramento de instrumentos de gestão urbana, tendo em conta os riscos de inundação, como o plano diretor urbano, o zoneamento urbano e a lei de uso do solo que incorporem o risco de inundação;
- ≈ o aprimoramento de instrumentos de gestão da crise por meio da elaboração de planos de contingência e do aperfeiçoamento dos meios de ações de defesa civil;
- ≈ o aprimoramento de metodologias para análise de risco e de vulnerabilidade a inundações.











No presente artigo, apresentaram-se uma metodologia para o desenvolvimento de curvas DPS e alguns resultados de sua aplicação em um estudo de caso na cidade de Itajubá, Minas Gerais, Brasil. A metodologia e os resultados apresentados ilustram, ainda que parcialmente, as afirmativas que vêm de ser enunciadas. Aplicações subseqüentes dessas curvas para a avaliação de algumas alternativas de controle de cheias para o caso da cidade de Itajubá deverão, em futuro próximo, fornecer elementos para uma discussão mais aprofundada dos benefícios, das vantagens e das limitações desse tipo de enfoque.

Anexo 1

Conteúdo dos questionários

Para a obtenção de dados empíricos foram desenvolvidos quatro modelos de questionários segundo o setor a ser investigado: habitação, comércio, serviços e indústria. Esses questionários possuem, em comum, a identificação do entrevistado, as informações gerais sobre a inundação, a caracterização da construção e dos danos a ela causados pela inundação e a percepção de risco. O questionário do setor de comércio procura detalhar os danos aos bens expostos, ao estoque e a equipamentos para diferentes tipos de estabelecimentos (e.g.: farmácias, supermercados, lojas de ferreiros, lojas de roupas, lojas de eletrodomésticos). O questionário do setor de serviços interessa-se pelos danos aos diferentes tipos de equipamentos e mobiliário (e.g.: consultórios médicos e odontológicos, cabeleiros, restaurantes, bancos).

Apresenta-se aqui, a título de exemplo, a estrutura do questionário aplicado ao setor habitacional. O questionário encontra-se dividido em 10 seções, compreendendo:

-  1: identificação e endereço do entrevistado;
-  2: informações gerais necessárias à identificação da classe social do entrevistado (bens de consumo duráveis da família e grau de instrução do responsável pelo domicílio), tempo de residência naquele endereço, composição e faixas etárias da família;
-  3: caracterização da parte externa da construção: tipo (e.g.: casa individual, casa germinada, edifício), número de pavimentos, idade da construção, estado de conservação da construção, área construída, material de construção predominante, tipo de revestimento, materiais de portas e janelas;
-  4: caracterização da parte interna da construção: número de cômodos, área e materiais de peças da cozinha e dos banheiros, materiais de revestimento e sistema de aquecimento de água;
-  5: informações gerais sobre a inundação, compreendendo as profundidades de submersão interna e externa da construção, a duração da inundação, a antecedência com a qual a família foi alertada da iminência da inundação, as atitudes adotadas após o alerta;
-  6: caracterização dos danos à construção por meio da caracterização dos tipos de danos (e.g.: danos à estrutura, às fundações, aos materiais de revestimento) e da quantificação dos danos (e.g.: área de revestimento atingida, comprimento de cabos de eletricidade substituídos);
-  7: caracterização dos danos ao conteúdo das habitações e a veículos motorizados (e.g.: danos a eletrodomésticos e mobiliário, danos a objetos de uso pessoal)
-  8: caracterização dos danos pessoais, envolvendo danos corporais e emocionais;
-  9: estimativa, pelo entrevistado, dos prejuízos sofridos, do valor dos bens expostos, na atualidade e da ajuda financeira eventualmente recebida logo após a inundação;
-  10: percepção de risco de inundação pelo qual se busca investigar o conhecimento do entrevistado sobre o fenômeno (e.g.: frequência e principais causas de inundações na área em foco), as iniciativas individuais ou coletivas para reduzir os prejuízos de inundações (e.g.: alterações na construção, deslocamento de bens de maior valor) e uma classificação do risco de inundação por comparação com outros riscos do cotidiano (e.g.: acidentes de trânsito, assaltos e roubos, incêndios).

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PESQUISAS DE MERCADO- ABIPEME. Critério Brasil: Instrumento para definir a classe social da população. Disponível em : <www.abipeme.org.br.>
- DUTTA, D.; HERATH, S.; MUSIAKE, K. 2003. A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology*, 277, p. 24-49.
- HUBERT, G. e LEDOUX, B., (ed.). 1999. *Le coût du risque... l'évaluation des impacts socio-économiques des inondation*. Paris : Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 232 p.
- 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: IGAM.
- LIMA, J.C., *Avaliação dos riscos e dos danos de inundação e do impacto da adoção de medidas não-estruturais em Itajubá*. 2003. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 159 p.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Desenvolvimento e Política Urbana.2001. *Itajubá : mapa da área inundada pelo evento de Janeiro de 2000*, escala: 1:10.000, COPASA: Belo Horizonte. 1 mapa.
- MINAS GERAIS. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil.2000. *Levantamento Fotográfico da Inundação de Janeiro de 2000 em Itajubá*. (não publicado).
- O. GILARD, G. OBERLIN.1998. *Guide pratique de la méthode Inondabilité*. Etudes inter-agences de l'eau, 158 p.
- PENNING-ROWSELL, E.C. 1999. Evaluating the socio-economic impacts of flooding – the situation in England and Wales, in Hubert, G. e Ledoux, B. (ed.). *Le coût du risque... l'évaluation des impacts socio-économiques des inondation*. Paris : Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, p. 177-189.
- PENNING-ROWSELL, E.C. ; CHATTERTON, J.B. 1977.*The benefits of flood alleviation*. Saxon House, Teakfield, Westmead.
- SALGADO, J. C. M. *avaliação econômica de projetos de drenagem e de controle de inundações em bacias urbanas*. 1995. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 113p.
- THEYS, J. ; FABIANI, J.-L. 1987. *La société vulnérable : évaluer et maîtriser les risques*. Paris : Presses de l'Ecole Normale Supérieure. 674 p.
- TORTEROTOT, J. 1993. *Le Coût des dommages dûs aux inondations: estimations et analyse des incertitudes*. Tese (Doutorado). Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris. 283 p.
- VIANNA, A. P. P., et al. 2001. Mapeamento da Planície de Inundação do Município de Itajubá - MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14., 2001, Aracaju. *Anais.... Porto Alegre: ABRH*, 19 p. 1 CD-RM.

Maria Léa Machado, Nilo Nascimento, Márcio Baptista, Március Gonçalves, Adriano Silva, Joelma Costa de Lima, Rodrigo Dias, Anderson Silva, Ébio Machado, Wilson Fernandes | UFMG - Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. niloon@ehr.ufmg.br