

CONSEQÜÊNCIAS ECONÔMICAS DAS INUNDAÇÕES: MODELANDO O IMPACTO EM ÁREAS URBANAS

Vanessa Lucena Cançado¹; Ricardo Machado Ruiz²; Nilo de Oliveira Nascimento³; Leise Kelli Oliveira⁴; Brenner Rodrigues⁵

RESUMO – Este estudo busca estimar as conseqüências econômicas da inundação sobre os domicílios e o espaço urbano, caracterizando os danos diretos e indiretos, mas incorporando também a vulnerabilidade, o que implica em avaliar a capacidade de recuperação da população exposta. Com este objetivo foi feita uma análise multisistêmica, que incorpora a rede hidrográfica, os domicílios, o sistema de transportes e as firmas. Os fluxos monetários da região foram definidos a partir das trocas econômicas entre firmas e domicílios. As informações são agregadas por meio de uma modelagem computacional em rede. Para verificar as relações entre os sistemas e as várias regiões de um espaço urbano complexo foi construído um protótipo, o qual procura representar os principais elementos da cidade impactados por uma inundação. As simulações feitas possibilitaram verificar a consistência dos fundamentos teóricos adotados, a coerência das rotinas analíticas e do banco de dados. A discussão metodológico-teórica e os resultados obtidos mostraram a viabilidade e potencialidade de aplicação da metodologia para análise de impactos ambientais em uma perspectiva ampla e considerando a dimensão relacional que envolve os processos.

ABSTRACT – This study tries to estimate the economic consequences of floods upon households and the city, characterizing the direct and indirect damages, but also incorporating the vulnerability, which implies the evaluation of the capacity of recovery of the exposed population. For this purpose a multisystemic analysis was undertaken, incorporating the hydrographic system, the households, the transportation system and the companies. The monetary fluxes were defined based upon financial exchanges between companies and households. The information was aggregated using a network computational model. In order to verify the relationships between the system and the various regions of a complex urban space a prototype has been devised. The devised simulations have verified the consistency of the adopted theoretical foundations, the coherence of the analytical routines and of the database. The methodological-theoretical discussion and the results obtained show the viability and the potentiality of applying the methodology to the analysis of environmental impacts from a broad perspective, also taking into account the relational dimension involving the processes.

Palavras-Chave – Inundações, danos diretos e indiretos, modelagem.

1 Pesquisadora EHR-UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627, CEP: 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil. E-mail: vanessa.cancado@gmail.com.

2 Professor Adjunto, CEDEPLAR/UFMG. Avenida Antônio Carlos, 6627, CEP: 31270-901 - Belo Horizonte, MG – Brasil. E-mail: rruiz@cedeplar.ufmg.br.

3 Professor Adjunto, EHR/UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627, CEP: 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil. E-mail: niloon@ehr.ufmg.br .

4 Professora Adjunta, ETG/UFMG. Av. Antonio Carlos, 6627 - Bloco 1 - Sala 3606, CEP: 31270-010. E-mail: leise@etg.ufmg.br.

5 Mestrando, IGC/UFMG. Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, MG. E-mail: bhmrodrigues@yahoo.com.br.

1 - INTRODUÇÃO

Este estudo busca estimar as conseqüências econômicas da inundação sobre os domicílios. Com este objetivo, além de caracterizar cada domicílio individualmente, analisam-se as interações que se estabelecem entre eles e o meio ambiente no qual desenvolvem funções básicas, como consumo, educação, trabalho e atividades de lazer.

Grande parte das pesquisas na área produz estimativa apenas dos danos decorrentes do contato direto de bens com as águas da inundação (Machado, 2005; Penning-Rowsell & Chatterton, 1977; Torterotot, 1993). Estudos que procuram captar os efeitos indiretos normalmente o fazem considerando danos específicos, como os decorrentes de congestionamentos de carros ou custos de serviços emergenciais. Há, ainda, abordagens que buscam captar a percepção de valor de uma diminuição do risco ou dos danos potenciais por meio de entrevistas diretas (Método de Valoração Contingente) ou pela comparação das condições imobiliárias entre áreas de risco hidrológico e áreas seguras (Método dos Preços Hedônicos) (Shabman *et al.*, 1998; Brouwer *et al.*, 2006).

Estes estudos, embora tragam avanços para discussão sobre benefícios no controle de inundação, não incorporam aspectos que possam emergir de uma análise que capte a rede de relações econômicas que se estabelece entre domicílios e as atividades econômicas e sua alteração frente ao choque externo representado pela ocorrência da inundação. Normalmente, são metodologias que trabalham de forma estática, mensurando os danos (ou os benefícios de uma medida de controle) em um local específico, ou simplesmente desconsiderando a propagação espacial dos impactos de uma enchente.

Por outro lado, modelos macroeconômicos, como os de Equilíbrio Geral Computável, necessitam de grande volume de dados, o que inviabiliza seu uso para eventos de inundação mais restritos ou com conseqüências limitadas ao município, sendo mais adequados para análise de desastres de abrangência regional ou nacional. Ademais, possuem limitações para captar efeitos de ocorrências temporárias e intensas, como as decorrentes de um desastre natural (THE IMPACTS..., 1999).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Na tentativa de mensurar os impactos diretos e indiretos das inundações, orientou-se a pesquisa bibliográfica em torno fundamentalmente de três temas: a estrutura do espaço intra-urbano, com ênfase nas relações de consumo empreendidas pelos domicílios; os modelos de microsimulação, os quais se baseiam em micro-unidades de análise; e, de forma abrangente, os estudos sobre danos decorrentes dos desastres naturais, especialmente, das inundações. Desta forma, procura-se unir três aspectos julgados relevantes para compreensão do impacto das inundações: o espaço intra-urbano, as relações dos agentes neste espaço e, como elemento de

choque, a inundação. Não foram encontradas pesquisas relevantes onde estes três aspectos foram discutidos conjuntamente.

Ante a análise crítica da literatura, verificou-se a análise de rede, os modelos regionais e a modelagem multi-agentes (MBA) como metodologias eficazes para compreensão dos impactos das inundações em sistemas complexos e interligados como é o sistema urbano. Destas técnicas, tiraram-se elementos para elaborar a proposta metodológica e conceitual no presente trabalho.

Os objetivos da pesquisa são discutidos conjuntamente por meio de uma análise multisistêmica: 1) sistema rio; 2) sistema domicílio; 3) sistema de transportes e 4) sistema produtivo-distributivo (firmas). Para agregar todas as informações, utiliza-se uma modelagem computacional em rede.

Considera-se o domicílio como unidade principal de análise. O domicílio funciona como um micro-sistema, onde se compartilham atividades na busca do máximo bem-estar. Os sistemas produtivo-distributivo e viário são introduzidos pelas suas interconexões com o sistema domicílio.

O sistema urbano-econômico é representado por meio de uma rede formada por nós e ligações (*links*). Os nós são os pontos de atividade econômica ou de moradia. Os *links* são formados pelos fluxos que circulam entre os nós, os quais representam as relações que se configuram entre os agentes. Considera-se nesta pesquisa que a relação fundamental a organizar a vida de um agente, no caso o domicílio, é a relação de consumo, seja o consumo de bens, serviços, conhecimento, lazer ou de trabalho. Agregadas as informações de todos os agentes de cada sistema, o modelo deve ser capaz de mostrar o comportamento do estoque de ativos e do consumo de bens e serviços nos domicílios.

Detalhando-se cada sistema, têm-se:

Sistema rio

É formado pelo rio ou rede hidrográfica. Sua inundação representa o choque externo à “normalidade” cotidiana. Em cada célula (*pixel*) da planície de inundação têm-se informações de profundidade, velocidade e duração da inundação para diferentes períodos de retorno.

Domicílios

Este sistema é representado pelos domicílios distribuídos na superfície. Ele possui um grande volume de informações georeferenciadas tanto do próprio domicílio, quanto dos seus moradores. O objetivo do sistema é a criação de um modelo com as rotinas dos domicílios antes, durante e após a inundação. O comportamento do domicílio é essencialmente de três categorias: 1) consumo de bens e serviços; 2) aquisição de educação e 3) aquisição de renda. As atividades de lazer inserem-se no primeiro comportamento. O equilíbrio do sistema ocorre quando o consumo se iguala à renda (Equação 1):

$$C = \sum (p_i \times q_i) = y \quad (1)$$

Onde:

C = consumo mensal familiar;

p_i = preço do produto i ;

q_i = quantidade consumida do produto i ;

y = renda total mensal familiar.

Sistema transporte (ou de deslocamentos)

Neste sistema têm-se os trechos principais da rede viária a fim de que seja feita uma análise do tráfego em uma situação com e sem inundação. Quando inundada parte da rede, o modelo simula os caminhos alternativos escolhidos pelos motoristas e sua capacidade de suportar o tráfego adicional. O uso de novas rotas pode implicar em aumento da distância percorrida ou do tempo de deslocamento e acarretar custos materiais e de tempo adicionais. Há ainda maior emissão de poluição atmosférica pelos veículos.

Sistema Produtivo-Distributivo

O sistema produtivo-distributivo é composto pelas atividades produtivas e pelos pontos de distribuição que estão espalhados na cidade. É o sistema que oferta trabalho e gera renda na região e também onde se encontram os locais nos quais os moradores despendem seus rendimentos. O equilíbrio do sistema ocorre quando a renda é igual à demanda (Equação 2):

$$L \times w = \sum p_i \times q_i \quad (2)$$

Onde:

L = número de trabalhadores;

w = salários;

p_i = preço do produto i ;

q_i = quantidade consumida do produto i .

2.1. Criação de um protótipo

Para simular o impacto da inundação em uma área urbana optou-se pela criação de um protótipo. Este procura representar de forma simplificada os principais elementos do espaço urbano, os quais interferem na magnitude do impacto da cheia. Utilizou-se como apoio para criação do protótipo os dados socioeconômicos, a organização espacial e os padrões de ocupação e uso do solo do município de Belo Horizonte, no Brasil.

Tendo como referência a área potencialmente atingida por uma inundação de tempo de retorno de 100 anos, trabalhou-se com três níveis geográficos que se inter-relacionam por meio de fluxos de consumo e de renda (Figura 1):

- Área de diretamente atingida – ADA: corresponde à área que seria hipoteticamente atingida por uma inundação de 100 anos de tempo de retorno. Essa sofrerá tanto impactos diretos, em decorrência do contato de bens e pessoas com a inundação, quanto indiretos. Como estão associados aos danos diretos, os danos indiretos nesta área tendem a ser mais intensos do que no restante da cidade, pois há uma possível diluição dos danos totais à medida que a rede urbana se distancia da área atingida. Ressalta-se que em eventos com tempo de retorno inferior a 100 anos, uma parcela da superfície da ADA não será atingida diretamente pelas águas.

- Área de entorno – AE: representa a área que circunda a ADA. Embora ela não tenha sido diretamente atingida pelo evento, pela maior proximidade com a ADA, tenderá a sofrer maiores impactos indiretos do que o restante da região urbana.

- Restante da rede urbana: é composta por 74 regiões, cada uma delas representada como um nó da rede urbano-econômica, o qual agrega o conjunto de domicílios, moradores e atividades econômicas que ali se localizam. Ela é incorporada à análise por sofrer, indiretamente, o impacto na ADA.

Na ADA e na AE cada domicílio e cada firma são mostrados de forma individualizada. Já nós, os agentes são representados de forma agregada. A área da AE foi criada através da aplicação de um raio de cobertura de 0,7 km sobre a ADA, o qual foi definido segundo a área dos bairros de Belo Horizonte que serviram de referência para criação da ADA e AE.

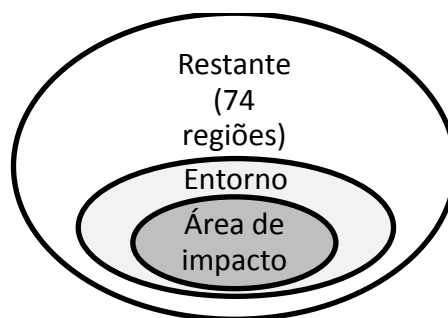


Figura 1 – Regiões do protótipo

A rede viária presente também é definida em duas escalas de detalhamento. Na região diretamente impactada e de entorno é feito um maior detalhamento do sistema, com a definição dos trechos viários principais, os *links* atingidos e aqueles preferencialmente utilizados como rotas alternativas. A rede estudada nesta área tem extensão de 49,61 km. Em uma segunda escala de detalhamento são mostradas apenas as principais vias da cidade, levando em conta sua função arterial na cidade. A utilização dos dois níveis de detalhamento justifica-se pela hipótese de que os impactos tendem a se diluírem no espaço, logo, apenas o detalhamento viário da região atingida por uma inundação de tempo de retorno de 100 anos já seria suficiente para captar grande parte do impacto da inundação.

A fim de captar os vários possíveis efeitos da inundação, procurou-se representar a ADA e a AE como regiões de elevada ocupação do solo, onde se localizam um grande número de domicílios e de firmas. Definiram-se seis subtipos de zoneamento na região, os quais se diferem segundo o nível de verticalização e de atividade econômica, sendo que um deles representa um centro econômico importante, com uma densidade de 2.534 firmas por km². A região é também relevante como área de passagem, pois conecta centros de atividade econômica da cidade que é representada pelo protótipo.

Para definição do número de firmas e sua distribuição no protótipo, foram utilizadas as informações disponibilizadas pela Secretaria da Fazenda de Belo Horizonte, que mostram o número de firmas, por bairros e tipo de atividade, em Belo Horizonte no ano 2000. O padrão de verticalização na ADA e AE foi obtido a partir de ajustes feitos considerando o número de lotes que não eram ocupados por edificações residenciais, resultando em um total de 468 prédios comerciais para toda a região. Em algumas situações consideraram-se edifícios mistos, onde o primeiro andar era ocupado por atividades econômicas e os demais por residências.

As firmas são caracterizadas segundo suas coordenadas geográficas, sua localização ou não no primeiro pavimento, seu código de atividade, o número de pessoal ocupado, a massa salarial e a sua capacidade de oferta (limite máximo possível de vendas). Por meio do código de atividade, sabe-se, de forma relativamente precisa, qual o tipo de bem ofertado no estabelecimento (e.g.: padaria, supermercado, vestuário, etc.). Construiu-se ainda um vetor de oferta para cada firma, o que permite identificar a existência ou não de oferta de 59 grupos de bens identificados na Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE (Comissão Nacional de Classificação - Concla, 2008).

Em relação aos domicílios da ADA e da AE optou-se que eles representassem aproximadamente a estrutura dos domicílios existentes em Belo Horizonte, considerando diferentes classes socioeconômicas e diferentes tipologias de família. Desta forma seria possível aproveitar as potencialidades de se utilizar um protótipo para verificar os impactos de uma enchente em domicílios com características distintas.

Portanto, retirou-se uma amostra de 14.314 domicílios dos microdados censitários (IBGE, 2000) que representasse a estrutura de rendimento e de tipologias de família existentes em Belo Horizonte. Para cada classe de rendimento e tipo de família, os domicílios foram escolhidos aleatoriamente. A Tabela 1 mostra a estrutura das tipologias de família existente na ADA e na AE.

Tabela 1– Distribuição dos domicílios da ADA e AE segundo as tipologias de família

Tipologia	Característica	% de domicílios
1	Casal sem filhos com responsável até 64 anos	8
2	Casal sem filhos com responsável com 65 anos ou mais	2
3	Casal com filhos menores de 13 anos	34
4	Casal com responsável até 64 anos e com todos os filhos maiores	15
5	Casal com responsável com 65 anos ou mais com todos os filhos maiores	4
6	Mulher até 64 anos só	4
7	Mulher com filhos	18
8	Mulher e outros	4
9	Homem até 64 anos só	4
10	Homem e outros	2
11	Idoso/idosa só	2
12	Homem com filhos	2
Total		100

Cada domicílio é representado segundo sua localização (coordenadas x e y e localização no primeiro pavimento ou não), tipologia de família, número de moradores, área do imóvel, padrão de acabamento do imóvel, número e nível de qualidade dos bens presentes no imóvel (definiu-se 33 tipos de bens) e rendimento domiciliar.

Os gastos mensais médios do domicílio são identificados para 59 grupos de bens, utilizando a mesma classificação definida para o vetor de oferta da firma. Desta forma, torna-se possível cruzar as informações sobre a necessidade de consumo do domicílio e o padrão de oferta da firma.

A menor unidade de análise do modelo são as pessoas. Elas são agentes que se deslocam para cumprirem as funções do domicílio de aquisição de renda, consumo e lazer. Na ADA e AE todos os residentes são diferenciados segundo a localização de sua residência, idade e capacidade física e mental (capacidade de escutar, ouvir, deficiência mental, etc.). Se o residente é trabalhador, é definido o seu código de atividade e a remuneração recebida e, se ele é estudante, define-se o nível de estudos.

Nos nós, os moradores não foram individualizados, mas considerados em seu conjunto no domicílio. A Tabela 2 apresenta uma síntese das informações contidas no protótipo:

Tabela 2 – Síntese das informações do protótipo

Indicadores	ADA e AE	Nós	Protótipo
Área total (km ²)	5,9	326,5	332,4
Área diretamente atingida (ADA) (km ²)	1,3	0,0	1,3
Número de domicílios	14.314	164.379	178.693
Número de moradores	51.116	588.220	639.336
Renda total (R\$ de 2010)	53.191.540	609.966.819	663.158.360
Renda média domiciliar (R\$ de 2010)	3.716	3.711	3.711
Número de firmas	5.045	19.084	24.129
Salários totais recebidos (R\$ de 2010)	84.652.848	331.095.626	415.748.474
Pessoal Ocupado	25.744	106.847	132.591
Salário médio por trabalhador (R\$ de 2010)	3.288	3.099	3.136
Média de trabalhadores / firma	5	6	5

2.2 - Simulação do comportamento do rio e incorporação no protótipo

A introdução da inundação no protótipo foi feita a partir da simulação hidrológico-hidráulica feita para o rio Betim, no município de Betim. Embora se trate de um protótipo, com a criação de um espaço virtual, optou-se por utilizar um modelo “real” de simulação do comportamento do rio, a fim de possibilitar uma coerência entre as informações hidráulicas de profundidade, velocidade e extensão da inundação para os diferentes tempos de retorno. Realizou-se a simulação da propagação da onda de cheia na área de estudo em escoamento não permanente, unidimensional.

Para a modelagem hidrológica foi utilizado o modelo HEC-HMS, versão 2.2.2 (HEC-HMS, 2002), desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Centre*, do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (*US Army Corps of Engineers*). A modelagem hidráulica do sistema de macrodrenagem é realizada utilizando-se o modelo de cálculo de linha d’água HEC-RAS, versão 4.0 (2003), do *US Army Corps of Engineers*. Foram desenvolvidos estudos para cheias com tempos de retorno de 05, 25 e 100 anos.

Após ter sido feita a simulação hidrológico-hidráulica, foram criados os mapas de inundação. Para este procedimento é necessária a combinação de duas informações: o nível d’água associado às seções do rio e o mapa topográfico da região. Para associações destes layers de informação, foi utilizado o programa ArcGis 9.2.

Definida a mancha de inundação para o três tempos de retorno, optou-se por incorporar ao protótipo o trecho do rio onde se observou o maior impacto do evento.

Com a criação do mapa de inundação detalhado, obtiveram-se os níveis d’água e a velocidade do escoamento que atingiram as edificações e infra-estrutura viária existentes na ADA nos diferentes tempos de retorno do evento.

2.3 - Simulação de Tráfego

A fim de se analisar o impacto da inundação no sistema de transporte, foi modelado o tráfego da rede viária que integra a região ADA e AE. Adota-se, portanto, a hipótese de que o impacto no sistema de transportes ocorrido em decorrência de uma inundação na ADA é absorvido na própria ADA e na AE. Fora desta área, o fluxo não é impactado. Esta hipótese é factível se há vias alternativas na região com capacidade para suportar o fluxo desviado e evitar uma grande propagação da perturbação na rede, pressuposto que é considerado no modelo. Em um estudo de caso, deve se verificar qual a extensão da rede que possivelmente seria perturbada e, portanto, deveria ser modelada. Idealmente, pode ser feita a simulação do tráfego de toda a rede viária da cidade ou aglomeração urbana, mas tal procedimento envolve elevado custo computacional e grande volume de informações, que talvez não sejam necessários ante os resultados esperados.

A fim de verificar o impacto da inundação no sistema de transportes, utilizou-se como ferramenta de análise a microsimulação de tráfego. A modelagem foi feita por meio do software *Integration 5.1*(INTEGRATION..., 2005). A rede viária modelada possui extensão de 49,71 km.

Para a modelagem, foram consideradas as principais vias da região em termos de fluxo de veículos e alternativas de desvio de tráfego ante a ocorrência da inundação. Como não havia informação sobre a origem e destino de cada agente do modelo, simulou-se o fluxo de veículos segundo as características da região (número de domicílios, firmas, pessoal ocupado, número de estudantes que chega à área, número estimado de consumidores, posse de veículos pelos domicílios, etc.). Foram também utilizadas na parametrização as informações sobre os fluxos das vias que passam por regiões com características similares em Belo Horizonte.

Para definir se o agente utiliza transporte coletivo (como em Belo Horizonte não há metrô, foi considerado apenas o ônibus como transporte coletivo intra-urbano de passageiros) ou privado, verificou-se, na amostra dos microdados censitários (IBGE, 2000), o percentual da população acima de 18 anos que possui automóvel no domicílio. Multiplicou-se o valor encontrado pelo fator 1,4, que representa a média de passageiros por automóvel em Belo Horizonte, segundo informação oral obtida no Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG. Este percentual foi então aplicado ao valor estimado de pessoas que circulam na ADA e AE, obtendo-se uma estimativa do número de veículos de passeio. O restante das pessoas são usuárias de ônibus, o qual circula, em média, com a capacidade máxima de passageiros sentados (50 assentos, segundo Rodrigues *et al.*, 2008).

A Figura 2 mostra a distribuição temporal do fluxo de veículos na região como um todo. Observa-se o pico da manhã, o pico bancário e o pico mais elevado de fim de expediente de trabalho e retorno à residência.

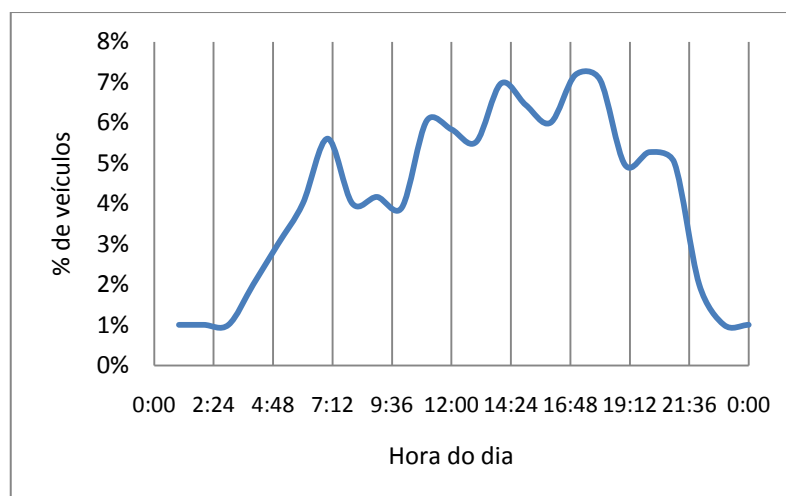


Figura 2 - Distribuição do fluxo de veículos ao longo do dia

Para a capacidade da via, definiu-se o fluxo de 700 veículos/hora para cada faixa. A velocidade utilizada é de 60km/h para a via coletora e de 40km/h para a via local . Os parâmetros

baseiam-se em recomendação do *Highway Capacity Manual* – HCM (TRB, 2000). Se há congestionamento, esta velocidade se reduz pela metade. Nos locais onde foi verificado um fluxo muito elevado de veículos, foram colocados semáforos a fim de se evitarem colisões.

As simulações envolveram os três cenários de inundação – tempos de retorno de 05, 25 e 100 anos -, considerando dois possíveis horários para o início do evento, 10h e 17h. Escolheu-se o horário de 10h para início da inundação por ele representar um momento de fluxo “médio” de veículos. No horário de 17h capta-se o efeito do evento em um momento de grande circulação dos agentes. Além disso, em várias cidades do sudeste do Brasil, como em Belo Horizonte, as inundações estão associadas à ocorrência de chuvas convectivas que, não raro, ocorrem ao final do dia.

Definiu-se que, caso a via seja inundada com uma altura de inundação superior a 15cm, o fluxo é interrompido, abaixo deste nível, tem-se uma redução da velocidade para 20 km/s.

Por meio da simulação do tráfego obtêm-se variáveis relevantes para análise do impacto da inundação: tempo, distância e consumo de combustível, emissão de poluentes como CO₂, HC e NO_x. A etapa seguinte é transformar os indicadores quantitativos em valores monetários.

O custo do combustível é obtido segundo a Equação 3 (IPEA/ANTP, 1997; Nagem, 2008):

$$C_C = (y_C \times p_C \times 0,718) \times d_V \quad (3)$$

Onde:

C_C = custo total de combustível por veículo (em reais de 2010);

y_C = quantidade total consumida por veículo (l/km);

p_C = preço da gasolina na bomba (em reais de 2010);

0,718 = fator proposto em Nagem (2008) utilizado para compensar a variação do combustível usado entre os veículos;

d_V = distância percorrida na área de estudo (nesta pesquisa, na ADA e AE).

O preço da gasolina foi obtido pela média praticada nos postos de gasolina da cidade (pesquisa pela Internet).

Para a definição do valor monetário do tempo, utiliza-se uma adaptação da formulação proposta por IPEA/ANTP (1997), a saber (Equação 4):

$$C_T = \left(\frac{w \times ES \times FA \times HP}{y_W} \right) \times t_V \quad (4)$$

Em que:

C_T = Custo do tempo de viagem na área de estudo (em reais de 2010);

w = renda mensal auferida pelo agente (em reais de 2010);

ES = Encargos sociais 95,02% = 1,9502;

FA = Possibilidade de uso alternativo do tempo (0,3);

HP = Percentual de uso produtivo do tempo (% viagens a trabalho + % viagens casa/trabalho x 0,75). Caso não disponível, usar 0,5;

y_w = Número de horas de trabalho por mês. Se não disponível, usar 168 horas.

t_v = tempo de viagem percorrido na área de estudo (em horas).

Para a Equação 4, obtiveram-se os valores da renda e as horas trabalhadas para cada agente diretamente dos Microdados censitários (IBGE, 2000). O tempo de viagem por veículo é uma informação de saída da simulação com o uso do *Integration*.

Finalmente, é feita a monetização dos poluentes. Considerou-se para avaliação econômica o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e o óxido de nitrogênio (NOx).

A monetização dos poluentes envolve estudos relativos aos efeitos da poluição sobre o ser humano e sobre o ambiente, os quais podem ser muito variados segundo as condições ambientais locais (clima, altitude, dispersão, regime de ventos, relevo, etc.), além da consideração dos efeitos obtidos pela atuação conjunta dos poluentes. Para definição destes valores, tem-se estudo do IPEA/ANTP (1997), o qual adaptou fontes americanas e européias para a realidade brasileira, considerando as relações entre as rendas per capita dos países. Os valores finais encontrados, em reais de 2010, são apresentados nas Equações 5, 6 e 7:

$$CO = R\$ 0,48/kg \quad (5)$$

$$HC = R\$ 2,89/kg \quad (6)$$

$$NO_x = R\$ 2,85/kg \quad (7)$$

O estudo do IPEA / ANTP (1997) utiliza como referência para monetização dos poluentes o impacto sobre a saúde. Não foram, portanto, incorporados impactos ambientais que recentemente tem ganhado crescente atenção pelos possíveis efeitos que podem causar no planeta, como o efeito estufa, a destruição da camada de ozônio e a chuva ácida.

2.4 - Modelagem econômica em rede

Com a utilização do banco de dados relacional anteriormente criado, foi feita uma modelagem econômica em rede para definir a conexão entre domicílios e firmas. Os domicílios efetuam gastos diversos nas firmas, além de obterem renda nos locais de trabalho (Figura 3).



Figura 3 – Os nós e links da rede econômica discutida neste estudo

Pontos de origem (domicílio) e destino (firmas) são definidos, segundo estratégias de escolha. Para a definição do local de trabalho do agente, foi feita uma escolha aleatória entre as firmas com o mesmo código de atividade do trabalhador (o código de atividade do trabalhador é uma informação censitária). Na escolha do local de estudo, efetuou-se procedimento semelhante, definindo-se aleatoriamente a unidade de ensino freqüentada pelo estudante segundo o nível de estudos desejado. As firmas possuem uma capacidade de oferta de mão-de-obra limitada, a qual é determinada pela variável número de pessoal ocupado. Da mesma forma, as unidades de ensino restringem a oferta pelo limite máximo de matrículas permitidas, ambas as informações são dados de entrada do modelo.

Em relação aos gastos efetuados pelos domicílios, utilizou-se uma estratégia de alocação mais detalhada. Os 59 tipos de gastos foram agrupados em seis tipologias, as quais foram definidas segundo critérios de substituíbilidade e distribuição da oferta (Tabela 3). Estes dois aspectos definem de forma central se o agente irá escolher a estratégia de adiar o consumo ou substituir o ofertante, em caso de ruptura do link de compra, ou seja, caso ocorra uma inundação na firma de consumo preferencial. A Tabela 4 mostra as possíveis estratégias do agente na escolha da unidade de consumo.

Tabela 3 - Tipologias de gasto

Grupo de gasto	Exemplos de gastos	Substituibilidade	Distribuição da oferta
A	Alimentação, remédios, jornais e revistas	Alta a média	Contígua
B	Brinquedos, eletrodomésticos, tecidos e armarinho	Média	Discreta
C	Serviços bancários, serviços pessoais	Baixa a média	Discreta a muito discreta
D	Educação superior, tratamento médico, serviços profissionais	Baixa	Muito discreta
E	Manutenção do lar, manutenção do veículo	Baixa a média	Muito discreta
F	Pensões, previdência privada	Variada	Discreta a muito discreta

Tabela 4 - Estratégias do agente de escolha das unidades de consumo

Tipo	Comportamento	Estratégia
1	Manter gasto	Comprar da firma mais próxima do domicílio e substituir o local de compra em caso de ruptura do <i>link compra</i>
2	Postergar gasto	Comprar da firma mais próxima do domicílio e não substituir o local de compra em caso de ruptura do <i>link compra</i>
3	Manter gasto	Comprar aleatório em um raio de deslocamento de 3,5 km e substituir o local de compra em caso de ruptura do <i>link compra</i>
4	Postergar gasto	Comprar aleatório em um raio de deslocamento de 3,5 km e não substituir o local de compra em caso de ruptura do <i>link compra</i>
5	Manter gasto	Comprar aleatório na cidade e não substituir o local de compra em caso de ruptura do <i>link compra</i>

Definiu-se a escolha aleatória para os gastos C, D, E e F por considerar que inúmeros fatores, além da proximidade da residência, atuam significativamente na definição do local de compra do bem em questão. Ressalta-se, que a própria distribuição das atividades no protótipo já atua

direcionando os fluxos. Os raios de deslocamento representam a distância limite que o agente está disposto a se deslocar para aquisição do bem. Entretanto, se não existe o bem no raio em questão, o agente passa a procurá-lo no ponto de oferta mais próximo. Para cada firma é definida sua capacidade de oferta (estabelecida segundo o número de pessoal ocupado e o tipo de atividade), o que evita que um pequeno número de firmas seja responsável pela oferta de elevada parcela de bens apenas devido à sua localização estratégica em relação ao agente. Observe que uma inundação no local de trabalho ou na unidade de ensino implica, obviamente, em uma estratégia de postergação da atividade, pois não há possibilidade oferta substituta imediata destes bens.

Definiram-se raios de deslocamento para a escolha de bens por considerar que, acima de determinada distância, o deslocamento envolve custos de transporte e de oportunidade que o agente não está disposto a incorrer. Este raio foi determinado de forma intuitiva, baseando-se na área das grandes regiões que dividem a cidade de Belo Horizonte. Entretanto, caso não exista o bem dentro do raio em questão, o agente se vê obrigado a procurar fora deste raio, no ofertante mais próximo. A definição de cada uma destas estratégias depende da ocorrência de inundação não apenas na firma de consumo preferencial, mas também no edifício de domicílio do consumidor (prédio de apartamentos ou casa). Consideraram-se três parâmetros de profundidade de inundação no edifício como relevantes na execução das suas funções de consumo (Tabela 5):

Tabela 5 - Parâmetros de ameaça à mobilidade do agente

Inundação no domicílio	Restrição à mobilidade
Ausência de inundação no edifício de domicílio ou profundidade do escoamento <0,15cm	Possibilidade de execução de todas as funções
Profundidade do escoamento entre 0,15cm e 0,45 cm no edifício de domicílio	Fluxo de veículos é interrompido. Desestímulo ao consumo de bens não essenciais
Profundidade de escoamento superior a 0,45cm no edifício de domicílio	Impossibilidade de execução de quase todas as funções - evacuação

Considerando conjuntamente à restrição ao acesso em decorrência da inundação do edifício de domicílio ou da firma, define-se à estratégia de cada domicílio em relação aos seus gastos:

Tabela 6 – Estratégia do agente segundo nível de inundação do edifício do domicílio residente

Grupo de gasto	Altura da inundação (y) no edifício		
	y < 0,15cm	0,45 cm > y >= 0,15 cm	y >=0,45 cm
A	1	1	2
B	2	2	2
C	4	3	3
D	4	4	3
E	3	3	3
F	5	5	5

A alocação dos trabalhadores nas firmas e dos estudantes nas instituições de ensino, bem como a definição das unidades de consumo escolhidas pelos agentes, é feita com o uso de

linguagem computacional C++. A espacialização do protótipo e das relações foi elaborada no software NetLogo 4.0.4, plataforma para programação de modelagem em agentes.

2.5 - Avaliação dos danos diretos dos domicílios

Definiram-se os danos diretos ao conteúdo dos domicílios por meio da aplicação de fatores de susceptibilidade ao contato com a água a cada um dos 32 tipos de ativos considerados. Os fatores foram propostos inicialmente por Penning-Rowsell & Chatterton (1977) e adaptados para a realidade brasileira em Machado (2005). Na sua definição, considera-se o tipo de ativo, sua qualidade (definida em três níveis) e a sua altura provável na residência, o que permite definir, para cada bem, qual o valor de sua depreciação segundo diferentes profundidades de inundação.

O fator de susceptibilidade à inundação é aplicado sobre o valor do bem encontrado na residência, que se considerou estar na sua meia vida, com uma depreciação média de 50%. A Equação 8 mostra o valor total dos danos do domicílio por tipo de bem e a Equação 9 o valor total de danos ao conteúdo.

$$DCn_{j,y} = (A_j \times P_j) \times d_j \times din_{j,y} \quad (8)$$

$$TDCn_y = \sum_{j=1}^{32} DCn_j \quad (9)$$

Onde:

$DCn_{j,y}$ = valor total dos danos do bem j a uma profundidade y;

A_j = quantidade do bem j;

P_j = preço do bem j;

d_j = percentual de depreciação em condições “normais” do bem j;

$din_{j,y}$ = fator de susceptibilidade à inundação do bem j a uma profundidade y;

$TDCn_y$ = valor total dos danos ao conteúdo do domicílio.

Sendo que:

$$0\% \leq din_{j,y} \leq 100\%,$$

$$1 \leq j \leq 32 \text{ e}$$

$$y \geq 0.$$

O preço dos bens foi obtido por meio de levantamento feito por pesquisadores diretamente em estabelecimentos comerciais e por meio da *Internet*.(Machado, 2005)

A análise do valor dos danos aos automóveis deve ser feita de forma separada, pois, como se trata de um bem móvel do domicílio, são necessárias algumas hipóteses adicionais. A principal dificuldade é a definição do número de veículos danificados. Os estudos analisados consideram como veículos atingidos aqueles pertencentes aos domicílios expostos ao evento (Appelbaum, 1985;

Nagem, 2008; EASTWOOD..., 2009), incorporando eventualmente um fator redutor (Appelbaum, 1985; EASTWOOD..., 2009). Neste estudo, devido ao enfoque dado aos domicílios expostos ao risco, optou-se por também utilizar a posse de veículos pelos domicílios como indicador do número de automóveis atingidos. Porém foram incorporadas algumas hipóteses adicionais:

- Considera-se que nos domicílios onde há automóvel, os trabalhadores o utilizam como meio de transporte para o local de emprego;
- Como se trabalha com dois momentos da inundação - 10h e 17h - estima-se que neste horário os automóveis utilizados pelos trabalhadores domiciliados na ADA e AE estão fora da área de impacto direto;
- Os veículos atingidos, portanto, são aqueles que não foram utilizados pelos trabalhadores e restaram no domicílio.

Ao serem aplicadas estas hipóteses nos domicílios que compõem a ADA e AE, verificou-se que 20% dos veículos permaneceriam na residência. Um percentual considerado adequado, e próximo aos 25% definidos no estudo de EASTWOOD... (2009) baseado nas estatísticas do *Australian Bureau of Statistics* sobre o número de veículos presentes nas residências no horário útil.

As possíveis avarias nos veículos e o valor de reparação foram estabelecidos em consultas a oficinas especializadas, nas quais foram simulados os possíveis danos aos veículos em diferentes profundidades de inundação. Utilizou-se nas simulações três tipos de veículos: “popular”, “médio” e “luxo”. Segundo os especialistas, em condições de depreciação moderada do veículo, a partir de 40 cm de profundidade há entrada de água no automóvel. De 40 a 70 cm os custos são, sobretudo, de limpeza, que varia segundo o valor do veículo. A partir de 70 cm cobre-se o banco e os danos são mais relevantes. Com mais de 1m de altura do nível d'água, há perda total de veículo.

Na análise dos danos à construção foram utilizadas as *curvas de danos versus profundidade de submersão* - curvas DPS - estabelecidas em Machado (2005).

3. RESULTADOS

No cenário de maior impacto (inundação com tempo de retorno de 100 anos), obteve-se 3.416 domicílios, 1.288 firmas e 13 trechos viários localizados na área inundada. Entre estes, 1802 domicílios e 110 firmas foram atingidos diretamente pelas águas (excluem-se, portanto, as unidades situadas em um nível superior ao alcançado pelo escoamento). Neste cenário, os danos diretos aos domicílios alcançaram cerca de 30 milhões de reais (valores de 2010), dos quais 63% representam os danos ao conteúdo (exceto veículos), 26% à construção e 11% aos veículos dos residentes na região. Ressalta-se o grande componente do valor dos danos associados aos veículos, pois, entre os domicílios atingidos diretamente pelas águas, aqueles em que o veículo também foi atingido,

apresentaram um aumento de 26% no valor dos danos totais em decorrência das avarias sofridas pelos veículos.

Juntamente com os danos, um aspecto central a ser discutido é a capacidade de recuperação do domicílio, retirando o caráter estritamente financeiro da análise e incorporando a dimensão social. A Tabela 7 apresenta alguns indicadores que auxiliam nesta discussão.

Tabela 7 – Renda domiciliar e tempo de recuperação dos domicílios

Atributos	Tr = 5 anos	Tr = 25 anos	Tr = 100 anos
Número de domicílios com danos diretos ¹	980	1252	1919
Renda domiciliar mensal mediana (em reais de 2010) ²	1509	1542	1542
Participação mediana dos danos diretos na renda anual (em %) ²	43%	51%	46%
Número mediano de anos necessários para retorno ao nível de bem-estar inicial ³	3,6	4,2	3,9

Nota. 1. Incluem domicílios atingidos diretamente pelas águas e domicílios onde apenas o veículo foi atingido.

2. São utilizados valores medianos, pois a amostra possui alta variabilidade de valores, o que leva a um valor *médio* do rendimento significativamente mais elevado do que o seu valor *mediano*.

3. Definiu-se o número de anos necessário para o retorno ao nível de bem-estar inicial de cada domicílio diretamente atingido e verificou-se qual o valor mediano encontrado.

A Tabela 7 procura apresentar algumas informações sobre a vulnerabilidade dos domicílios aos danos diretos. Nas duas primeiras linhas, têm-se informações gerais sobre o número de domicílios com danos diretos nos três cenários de análise e a renda domiciliar mediana dos mesmos. Ao se verificar a renda domiciliar, percebe-se tratar de uma região de renda relativamente baixa. Nas duas últimas linhas têm-se dois possíveis indicadores de vulnerabilidade ou de resiliência (participação dos danos na renda anual e tempo necessário de recomposição), pois eles indicam a capacidade de reconstrução do domicílio com recursos próprios. Os valores são apresentados em termos da mediana encontrada entre os domicílios. Chama atenção a diminuição na relação entre o valor dos danos e a renda no cenário de maior risco, o que pode ser explicado pelo aumento, neste cenário, da área inundada, com a conseqüente mudança na amostra de domicílios atingidos e nas características do escoamento (e.g.: mudança na renda domiciliar mediana, nas profundidades etc.).

Ressalta-se que foi considerada na análise a recomposição dos bens às mesmas condições anteriores, ou seja, ao nível de depreciação média existente antes do evento. Entretanto, muitos domicílios, por motivos diversos, possivelmente optarão por adquirir novos bens, o que implicará em um período ainda maior de recuperação do que aquele mostrado na Tabela 7.

Pode ainda ser feita outra hipótese: a de que o domicílio alocaria maior parte da renda para a sua recuperação do que a que ele tradicionalmente alocaria em bens “supérfluos”. Neste caso, ele se encontra em uma situação onde opta por renunciar ao consumo imediato mesmo de bens necessários a fim de que possa se recuperar mais rapidamente do impacto físico do evento. Desta forma, evita-se uma situação de precariedade quase permanente, como mostrada na Tabela 7 para os

domicílios submetidos a uma inundação freqüente. Supondo que estes optem por um horizonte de três anos, isto implicaria em comprometer, em termos medianos, 14% da renda anual com a recomposição dos danos.

Em relação à propagação do impacto na rede urbano-econômica, observou-se que, no cenário de maior impacto, 11.461 trabalhadores foram atingidos em decorrência da existência de inundação em seus locais de trabalho, sendo que, entre estes, 75% habitavam fora da ADA e AE.

O impacto também pode ser observado no nível e estrutura dos gastos efetuados pelas famílias. A Figura 4 mostra o impacto da inundação de tempo de retorno de 100 anos nos gastos médios ocorridos na cidade durante um dia qualquer. O cenário “cotidiano” representaria um dia de normalidade nos gastos do domicílio. Os gastos se situam na faixa de 9 milhões de reais, nível que pode ser considerado como aquele em que há um relativo equilíbrio na cidade. A ocorrência da inundação representa o choque que leva os agentes a reorganizarem suas estratégias de consumo. Segundo o tipo de gasto e a ocorrência de inundação no domicílio ou na unidade de consumo habitual, alguns consumidores resolvem adiar as compras, representando impacto no nível de consumo global.

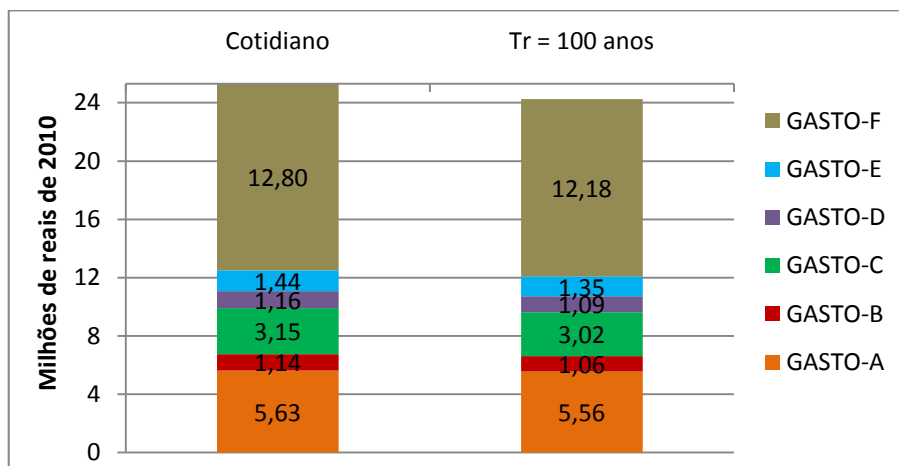


Figura 4 – Valor do consumo das famílias por tipo de gasto: cenário cotidiano e cenário com inundação de tempo de retorno de 100 anos

Em termos globais, o choque representou um “desequilíbrio” de 4% no nível de consumo. Ele indica o consumo potencialmente perdido durante um dia de inundação. O gasto que mais contribui para este despenho foi o gasto F, pois apresentou redução de 5% em relação ao cenário cotidiano. Outros tipos de gastos também mostraram queda significativa, como o gasto B e D, mas por representarem uma menor parcela nos gastos totais do domicílio, contribuíram com menor intensidade no resultado global do valor do consumo.

Na Figura 5 é enfatizada a queda ocorrida nos gastos devido à estratégia de adiamento das famílias para três cenários de tempo de retorno da inundação simulados. Pode-se verificar, como esperado, que a queda no consumo é concentrada na ADA e AE. Nestas regiões, tem-se uma redução de 39% dos gastos no cenário mais restritivo em relação ao cenário cotidiano. A

diminuição do consumo dos domicílios situados fora da zona impactada e de seu entorno mais imediato foi ligeira, o que indica que a sua dependência em relação à região atingida não era significativamente elevada.

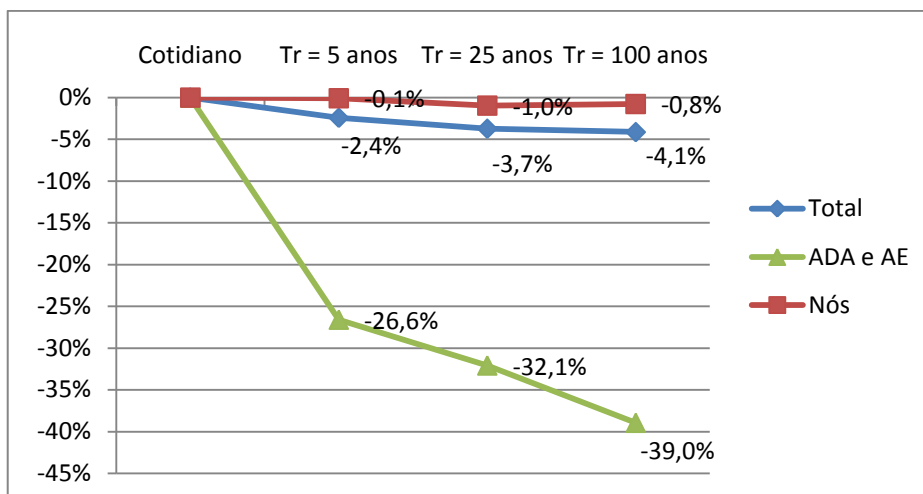


Figura 5 - Variação total e na ADA e AE do consumo das famílias considerando o cenário cotidiano e três cenários de inundação.

O impacto na circulação de veículos dentro da ADA e AE foi verificado com o aumento no tempo médio de viagem na área de 6 minutos para 23 minutos. A velocidade média, por sua vez, sofreu queda de 39 km/h para 10 km/h. Em termos monetários, a Tabela 8 mostra o custo associado à mobilidade dentro da ADA e AE.

Tabela 8 - Valores associados ao deslocamento (em R\$)

Item	Custo (em Reais de 2010)	
	Sem inundação	Inundação (Tr=100 anos)
Tempo	241.788 (0%)	859.605 (aumento de 256%)
Combustível	61.331 (0%)	126.253 (aumento de 106%)
Poluentes	206 (0%)	301 (aumento de 46%)

4. CONCLUSÕES

Este artigo teve como objetivo apresentar um arcabouço metodológico e conceitual multidisciplinar para análise do impacto de eventos naturais. Como espaço de simulação, foi construído um protótipo no qual é possível definir as relações entre a ocorrência da inundação, os danos diretos aos domicílios, as perturbações sobre os fluxos de gasto e renda e as perturbações sobre o tráfego. As conexões puderam ser captadas não apenas entre estes quatro elementos, mas também, espacialmente, entre regiões. A agregação destas dimensões em um método de análise é pouco utilizada e, de fato, não foram encontradas referências significativas na literatura. O protótipo constitui-se, ainda, em um espaço de experimentação e análise de fenômenos naturais e sociais, os quais podem ser mais bem compreendidos e parametrizados antes da aplicação empírica do método. Sendo flexível, permite seu aperfeiçoamento permanente, com a incorporação ou aprimoramento de novos algoritmos e dados.

As próprias simulações feitas possibilitaram verificar a consistência dos fundamentos teóricos adotados, a coerência das rotinas analíticas e computacionais e do banco de dados. A discussão metodológico-teórica e os resultados obtidos mostraram a viabilidade e potencialidade de aplicação da metodologia para análise de impactos ambientais em uma perspectiva multidisciplinar e considerando a dimensão relacional que envolve os processos.

A pesquisa abre um vasto campo para novos estudos. A metodologia permite criar um agente mais complexo, com regras comportamentais dinâmicas associadas à percepção do ambiente. A análise de rede, relativamente pouco explorada no modelo, pode ser desenvolvida para compreender a estrutura e a configuração de diversas redes existentes no espaço urbano (sejam físicas ou de fluxos), a fim de verificar sua vulnerabilidade a eventos extremos. Pode-se ainda avançar no estudo, buscando-se uma maior integração entre a modelagem sócio-econômica e a de tráfego, a fim de que possa ocorrer uma realimentação constante de informações.

Espera-se que este artigo traga elementos para uma melhor compreensão dos processos complexos que envolvem a interação entre natureza e sociedade. Em um contexto mais amplo, busca-se a abertura de um caminho para a reflexão de questões relevantes que orientem a definição das políticas públicas, como a necessidade de um estudo que integre as várias dimensões relacionadas à gestão do risco de inundações - ambiental, social e econômico - e que possibilite a convivência mais harmoniosa entre o espaço construído e o fenômeno “natural”.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Projeto SWITCH (switchurbanwater.eu) e das agências CAPES, CNPq e FAPEMIG.

BIBLIOGRAFIA

APPELBAUM, S. (1985). Determination of urban flood damages. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 111, n.3, p. 269 – 283, jul 1985.

BOLLIN C.; CÁRDENAS C.; HAHN H.; VATSA K. S. (2003). *Red de Desastres Naturales: gestión de riesgo de desastres por comunidades y gobiernos Locales*. Serie de Estudios Dialogo Regional de Política. Washington, D.C.: Secretaría General del Diálogo Regional de Política, Inter-American Development Bank, dec. 2003. 88 p.

BROUWER, R; AFTAB S.; BRANDER, L; HAQUE E. Economic Valuation of Flood Risk Exposure and Flood Control in a Severely Flood Prone Developing Country. *PREM Working Paper 06-02*, Mar. 2006. Available at < <http://www.premonline.nl/archive/16/doc/PREM06-02.pdf> >.

CANÇADO, V. (2009). *Consequências Econômicas das Inundações e Vulnerabilidade - Desenvolvimento de Metodologia para Avaliação do Impacto nos Domicílios e na Cidade*. MG. 2009. 1 v. Thesis. (Doctoral Program in Sanitation, Environment and Water Resources, Concentration area: Water Resources) – School of Engineering, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO – CONCLA. (2008). *Classificação Nacional das Atividades Econômicas – CNAE 1.0*. Rio de Janeiro: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRÁFICA E ESTATÍSTICA (Org.). Available at: < <http://www.cnae.ibge.gov.br/>>. Acesso em: setembro / 2008.

EASTWOOD & Terry's Creek Floodplain Risk: Management Study & Plan. (2009). Bewsher Consulting Pty Ltd, 2009. 79 p. *Final Report*. Available at < <http://www.ryde.nsw.gov.au/floodplainstudy.htm> >.

HEC-HMS. (2002). River Analysis System – User's Manual (version 3.1.3). (2002). U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, Abr. 2002, 482 p.

HEC-RAS. (2003). *Hydrologic Modeling System – User's Manual* (version 2.1.2). (2003). U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, Maio 2003, 482 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2000). Censo Demográfico 2000: Microdados da Amostra - MG1 - população acima de 50.000 habitantes . Query the database in Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional de Minas Gerais – Cedeplar, Faculdades de Ciências Econômicas – Face, UFMG.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2005). Notas Técnicas do Cadastro Central de Empresas – CEMPRE. Disponível em <www.ibge.gov.br>.

INTEGRATION Rel. 2.30 for Windows. (2005). *User's Guide: fundamental Model Features*. M. Van Aerde & Assoc. Ltd., v. I, Blacksburg, Virginia, 2005. Disponível em <<http://filebox.vt.edu/users/hrakha/Software.htm>>.

IPEA/ANTP. (1997) *Redução das Deseconomias Urbanas pela Melhoria do Transporte Público*, Rio de Janeiro.

MACHADO, M. L. (2005) *Curvas de Inundação versus Profundidade de Submersão: Desenvolvimento de Metodologia – Estudo de Caso da Bacia do Rio Sapucaí, Itajubá – MG*. 2005. 2 v. Thesis. (Doctoral Program in Sanitation, Environment and Water Resources, Concentration area: Water Resources) – School of Engineering, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

NAGEM, F. (2008) *Avaliação Econômica dos Prejuízos Causados pelas Cheias Urbanas*. Rio de Janeiro: Escola de Engenharia da UFRJ, 125 p. (Master of Science in Civil Engineering).

PENNING-ROWSELL, E. C.; CHATTERTON, J. B. (1977) *The Benefits of Flood Alleviation: a Manual of Assessment Techniques*, Aldershot: Gower-Technical, 297 p.

RODRIGUES, F.; BALASSIANO R.; NASSI, C.; PORTUGAL L.; RESENDE C. (2008) *Avaliação da influência da divisão modal na operação do tráfego em centros urbanos*. COPPE/UFRJ. Pluris. Oral presentation: Tráfego e Circulação.

SHABMAN L.; STEPHENSON, K; THUNBERG, E; DIETZ B. (1998). *Comparing Benefit Estimation Techniques*: IWR Report 98-R-2, Alexandria: U. S. Army Corps of Engineers, mar. 1998. 123 p.

THE IMPACTS of Natural Disasters: A Framework for Loss Estimation. (1999). Committee on Assessing the Costs of Natural Disasters, National Research Council. Washington, D.C: NATIONAL ACADEMY PRESS, 80 p.

TORTEROTOT, J. (1993) *Le Coût des Dommages Dûs aux Inondations: estimations et analyses des incertitudes*, Paris: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 283 p. (Thesis, Doctorate in Sciences and Techniques of the Environment).

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD - TRB. (2000) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C.