

ANÁLISE DE VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO: Estudo de Caso da Cidade de Manhuaçu, Minas Gerais

*Vanessa Lucena Cançado¹; Lucas Samuel Santos Brasil²; André Guerra³ & Nilo de Oliveira
Nascimento⁴*

RESUMO --- Este artigo discute três componentes essenciais na análise de danos potenciais de uma inundação: ameaça, vulnerabilidade e risco. A ameaça está relacionada à probabilidade do evento e às suas principais características físicas. A vulnerabilidade refere-se à magnitude dos danos potenciais da área inundável e à sua capacidade local de recuperação. A interação entre estes dois elementos indica o nível de risco da área exposta. Partindo desse pressuposto, é criado um índice de risco para descrever a área inundável de Manhuaçu, município situado entre leste e sudeste de Minas Gerais, com cerca de 73000 habitantes, atingido frequentemente por inundações. Para produzi-lo, foram empregadas técnicas estatísticas de análise fatorial e análise de agrupamentos. Utilizando-se informação cartográfica da localidade, desenvolveram-se mapas de inundação da área urbana, o que permitiu a associação entre os dados gerados por meio da modelagem hidrológico-hidráulica e as características de uso do solo. Com o uso dos mapas, diferentes áreas do município foram delimitadas segundo o nível de ameaça, vulnerabilidade e risco à inundação. Acredita-se que o melhor conhecimento e quantificação do risco e danos associados auxiliem nas avaliações dos projetos de drenagem para a cidade e na criação de um plano local de prevenção à inundação.

ABSTRACT--- This paper discusses the three major elements related to the flood potential damages: hazard, vulnerability and risk. The hazard takes into account the probability events as well as their main physical characteristics. The vulnerability refers mainly to the potential losses of flood prone area and the local recovery capacity. The interaction between these two elements indicates the risk level of the exposed area. An index for total risk including sub-indicators is created to describe the flood-prone area and the occurrence of economic damages in Manhuaçu, a Brazilian town with 73000 inhabitants, with frequent flood events. Factorial analyses and hierarchical cluster analysis are employed to produce the risk index. Flood maps of the urban area are developed with local cartographic information allowing the association of data generated by hydrologic and hydraulic modeling and land use characteristics. The flood maps allow delimiting and classifying the different areas according to the hazard, the vulnerability and the risk associated to the flood. A better knowledge and quantification of the risk and damages should make it possible to improve of economic evaluations of drainage projects and to help the creation of a flood prevention plan for the city.

Palavras-chaves: vulnerabilidade à inundação, mapas de ameaça, danos.

1 Economista, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Hidráulica e Recursos Hídricos. Avenida do Contorno, 842 – Centro – Belo Horizonte – MG – 30110-060. E-mail: vanessa@ehr.ufmg.br.

2 Engenheiro, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Hidráulica e Recursos Hídricos. Avenida do Contorno, 842 – Centro – Belo Horizonte – MG 1 – 30110-060. E-mail: lucasbrasil@ehr.ufmg.br.

3 Bolsista de iniciação científica do Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, UFMG. E-mail: andre@gmail.com.

4 Professor adjunto do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Hidráulica e Recursos Hídricos. Avenida do Contorno, 842 – Centro – Belo Horizonte – MG – 30110-060. E-mail: niloon@ehr.ufmg.br.

1. INTRODUÇÃO

Estudar os efeitos da inundação implica em discutir a interação entre a natureza do evento natural e as características da população em risco (Green, Parker & Tunstall, 2000). Considerar isoladamente os aspectos sócio-econômicos da população ameaçada implica em aceitar que a comunidade está exposta ao mesmo nível de vulnerabilidade, independente da magnitude e tipo de ameaça natural. O outro extremo, uma análise focada no evento, traduz-se em um estudo essencialmente hidrológico-hidráulico. Ao interagir os dois aspectos, o físico e o sócio-econômico, torna-se possível fazer inferências sobre o nível de risco e vulnerabilidade a que a população se expõe.

Entre os modelos relevantes na análise da vulnerabilidade a desastres naturais, tem-se o Modelo de Pressão e Alívio (do inglês, *Pressure and Realise Model*) e o Modelo de Acesso (*Access Model*) (Wisner et al., 2004). O primeiro considera que, para o aprofundamento da análise do desastre, é necessário traçar as conexões que ligam o impacto da ameaça sobre as pessoas aos processos e fatores sociais que geraram a vulnerabilidade. Neste processo têm-se causas remotas, ligadas à formação institucional e jurídica da comunidade, e fatores de pressão - como a rápida urbanização, guerras e problemas econômicos conjunturais - que criaram as condições de insegurança e vulnerabilidade (e.g.: precariedade no acesso à renda, educação e, em sentido amplo, ao bem-estar). O segundo modelo, o Modelo de Acesso, enfatiza aspectos tratados no primeiro, mas no “ponto exato de pressão”, o ponto onde e quando o desastre começa a se desenvolver. Ele mostra o desvio da “normalidade” na vida cotidiana frente ao desastre e discute quando e como os pontos de disjunção entre os dois cenários ocorrem (com e sem desastre). O modelo de acesso busca explicar ao nível micro, normalmente na família, o estabelecimento e a trajetória da vulnerabilidade e sua variação entre indivíduos e famílias.

Este artigo, embora se amparando na base conceitual desses modelos, não apresenta a discussão da trajetória de progressão da vulnerabilidade e nem os processos sociais que criaram ou possibilitaram as condições para que determinada inundação se transformasse em um desastre ou em uma catástrofe. Ele propõe a criação de um índice que caracterize a comunidade no momento de exposição ao evento, e com isso procura contribuir para a estimativa do nível de vulnerabilidade e risco à inundação. Este retrato tende a se alterar no tempo, pois a vulnerabilidade é um processo dinâmico. Como no Modelo de Acesso, foca-se a análise nas famílias (e domicílios), pois, conforme assinala Green (2004), como a maioria das pessoas gasta a maior parte da vida como membro de uma ou outra família, ela é a unidade básica de análise.

A equação 1 mostra os três elementos presentes em uma análise de impacto de um evento natural e base da criação do índice de risco à inundação:

$$Risco = Ameaça \times Vulnerabilidade$$

(1)

Graficamente,

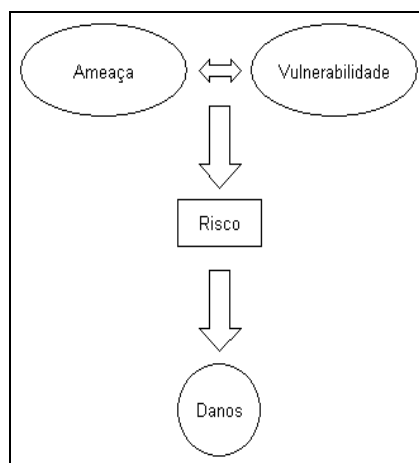


Figura 1. Da ameaça aos danos

A ameaça refere-se a um evento natural que pode afetar diferentes locais, isoladamente ou em combinação (inundação, desmoronamentos, tempestades etc.), em tempos diferentes (Wisner et al., 2005: 49). Segundo seus fatores de impacto, possui distintos graus de intensidade e severidade. A inundação exerce impacto sobre bens e pessoas por ações hidrostáticas, hidrodinâmicas e de fluatuabilidade presentes no escoamento. Aumentam seus efeitos a carga de componentes transportados, como entulhos, sedimentos, componentes químicos, nucleares (muito raros) e biológicos (ação de microorganismos que vivem em condições úmidas, especialmente mofo e fungos) (Kelman & Spence, 2004).

A maioria dos estudos de risco não incorpora integralmente todas estas forças e pressões, seria um trabalho exaustivo, quando não impossível, de quantificação. Muitos estão fortemente relacionados às especificidades locais. Com frequência usa-se a profundidade (componente hidrostático) e a velocidade (componente hidrodinâmico) e, em menor quantidade, a duração ou a interação entre estas forças (e.g.: velocidade x profundidade).

A vulnerabilidade social baseia-se nas características demográficas e sócio-econômicas da área ameaçada. A definição da escala de análise é relevante e tem influência nas variáveis a serem incorporadas. Alguns trabalhos, como o de Green, Parker & Tunstall (2000), destacam as famílias como base de estudo e distinguem, entre os componentes da vulnerabilidade, os aspectos sociais e os materiais (susceptibilidade das construções). Outros, especialmente por se tratarem de indicadores de vulnerabilidade do município como um todo e não de um indicador de vulnerabilidade intra-urbano ou das famílias, incorporam fatores de exposição (e.g.: número de domicílios, percentual de acesso, população, produto interno), vulnerabilidade da base econômica local (e.g.: diversificação econômica, número de micro e pequenas empresas, interrupção das vias de acesso nos últimos anos) e vulnerabilidade ambiental (e.g.: percentual de área de bosque, área

degrada e área subutilizada) (Bollin et al., 2003). A experiência anterior de inundação e a existência de sistema de alerta e sua eficiência também são variáveis destacadas nos estudos de vulnerabilidade (Read, Sturges and Associates, 2000 *apud* Handmer, Reed & Percovich, 2002). Como amortecedora do impacto, tem-se ainda a capacidade de resposta da comunidade frente à ameaça, reflexo, principalmente, da quantidade e qualidade dos recursos humanos e materiais disponíveis para a comunidade para situações de desastre e das redes de solidariedade existentes. A escolha das variáveis que descrevem a vulnerabilidade não é simples e geralmente concilia a visão do analista ou grupo de analistas com a referência bibliográfica, técnicas de análise multivariada de dados e processos de tomada de decisão multicritério. Neste artigo, como mostrado adiante, dois fatores compõem o índice de vulnerabilidade: a vulnerabilidade socioeconômica e os fatores de impacto.

A interseção dos dois elementos - ameaça e vulnerabilidade - indica o nível de risco ao qual o local está exposto; ocorrendo o fator de gatilho, a inundação, ele se traduz na magnitude dos danos e custos para a comunidade (Figura 1).

Este artigo organiza-se em torno de uma discussão sobre a ameaça para, a seguir, analisarem-se a vulnerabilidade e o risco e, finalmente, caracterizar os danos e prejuízos decorrentes de uma inundação. As análises presentes fornecem ferramentas para o desenvolvimento de um plano de controle de cheias, tendo como referência o estudo de caso da cidade de Manhuaçu, situada no estado de Minas Gerais, Brasil.

2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, com uma área de 593 km², é predominantemente ocupada por floresta natural e atividades agrícolas (18% da área). A ocupação por áreas urbanas, essencialmente a cidade de Manhuaçu, representa apenas 1% da área total. A bacia do Manhuaçu é caracterizada por declives íngremes e uma rede densa de drenagem que flui ao longo de vales estreitos. Como resultado, a capacidade de armazenamento da área é baixa. A contribuição do rio São Luiz no rio Manhuaçu, pouco a montante da área urbanizada, e o tempo de concentração, calculado em cerca de 8 horas, contribuem para o agravamento dos eventos de inundação. A cidade de Manhuaçu, com uma população de 72 mil habitantes, é atingida frequentemente por eventos de inundação do rio Manhuaçu. A área urbanizada da cidade está espalhada em um vale estreito e ocupa parcela da planície de inundação do rio.

Todas as inundações, desde 1906, estão registradas de alguma maneira nos arquivos da prefeitura. Entretanto, nos últimos 27 anos, quatro eventos de cheia tiveram destaque:

- Evento de 1979: duração de 10 dias e precipitação total de 724 mm;
- Evento de 1997: duração de 14 dias e precipitação total de 413 mm;

- Evento de 2003: duração de 10 dias e precipitação total de 319 mm;
- Evento de 2005: duração de 14 dias e precipitação total de 333 mm.

Estes eventos afetaram diretamente grande parte da população, causando danos a habitações, infra-estrutura de estrada e redes de serviço de água, eletricidade e telefone, como também a interrupção das atividades comerciais e de serviços da cidade. Para o evento de 2003, as perdas devido à inundação foram calculadas em, aproximadamente, R\$ 16 milhões de reais.

Para subsidiar a avaliação dos eventos de cheia de projetos, determinados através de simulações hidrológicas, realizou-se a divisão da área, com a descrição de 12 sub-bacias, como apresentado na Figura 2.

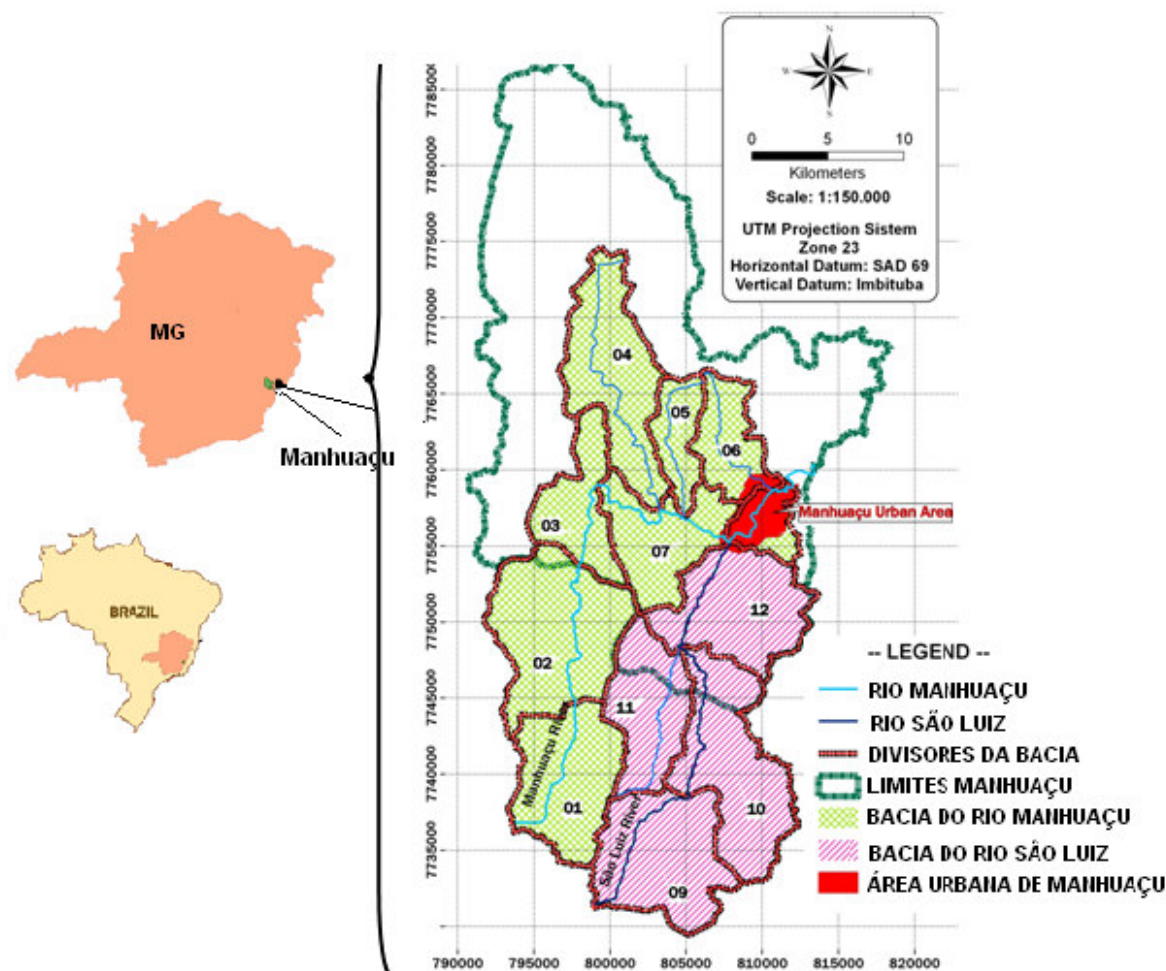


Figura 2. Localização da Área de Estudo

3. METODOLOGIA

3.1. Construção dos Mapas de Inundação

Por meio da construção dos mapas de inundação delimitaram-se as áreas atingidas pelos eventos de projeto e a classificação das diferentes áreas segundo o nível de ameaça, a vulnerabilidade social e o risco de um evento de cheia simulado.

A base cartográfica utilizada para gerar os mapas de inundação da área urbana possui curvas de nível espaçadas de 5 em 5 metros. A base digitalizada da conformação da área de ocupação urbana da cidade de Manhuaçu foi disponibilizada com o auxílio do software Autocad, da empresa Autodesk. O software de geoprocessamento da série ARCGIS serviu de base para a associação dos resultados numéricos fornecidos pelo modelo HEC-RAS com o modelo digital de terreno.

3.2. Construção dos Mapas de Ameaça

Como ameaça considerou-se o risco de perda de estabilidade dos indivíduos expostos à inundação. Segundo a Federal Emergency Management Agency - FEMA - (1979), o afogamento é a primeira causa de mortes durante uma inundação, um dos motivos da importância de um indicador que possibilite mostrar como as pessoas devem lidar com diferentes tipos de condições de escoamento das águas a fim de evitarem riscos de afogamento e ferimentos. Um adulto com tamanho e peso médio, por exemplo, começaria a perder estabilidade quando a água alcança 0,91 m de profundidade e 0,61 m/s de velocidade (Federal Emergency Management Agency, 1979).

Na definição dos parâmetros do índice de ameaça, seguiu-se metodologia suíça (Prevene, 2001 *apud* Courtel et al., 2006), na qual o índice é caracterizado segundo dois aspectos: a intensidade do evento e a probabilidade de sua ocorrência em diferentes cenários de inundação. A intensidade associada a uma determinada probabilidade de ocorrência foi obtida interagindo-se profundidade e velocidade do escoamento.

A Tabela 1 indica os três níveis de intensidade utilizados para a classificação da ameaça da inundação na área de estudo.

Tabela 1. Ameaça segundo a variação da profundidade e da velocidade do escoamento

Índice de Ameaça	Profundidade [h] e Velocidade [v]
Intensidade Alta	$h > 1,5 \text{ m}$ ou $v > 1,5 \text{ m/s}$
Intensidade Média	$0,5 \text{ m} < h < 1,5 \text{ m}$ ou $0,5 \text{ m/s} < v < 1,5 \text{ m/s}$
Intensidade Baixa	$0,1 \text{ m} < h < 0,5 \text{ m}$ e $0,1 \text{ m/s} < v < 0,5 \text{ m/s}$

3.3. Análise de Risco e Vulnerabilidade Social

A ocorrência de vários danos e sua magnitude, ou seja, a concretização da ameaça e risco depende das condições sócio-econômicas do local atingido pelo evento. A vulnerabilidade de um indivíduo ou sociedade relaciona-se a uma situação de exposição ao risco somada a falta de habilidade em evitar ou absorver as suas conseqüências (Pelling, 2003).

O risco total de inundação em Manhuaçu é medido por um índice composto de duas dimensões: a ameaça e a vulnerabilidade social (Equações 2 e 3):

$$R_T = A \times V_T \quad (2)$$

$$V_T = \text{função}(E, I) \quad (3)$$

Onde: RT = Risco Total; A = Índice de ameaça; VT = Índice de vulnerabilidade total da comunidade à inundação; E = Índice de vulnerabilidade socioeconômica e I = Índice de impacto.

A ameaça (A) é o fator natural de pressão. Engloba algumas características da inundação consideradas relevantes para definir seu impacto sobre as pessoas: velocidade, profundidade e probabilidade de ocorrência. O índice de vulnerabilidade (VT) decorre da combinação de dois subíndices: índice de vulnerabilidade socioeconômica (E) e índice de impacto (I) (Equação 3). O primeiro refere-se aos níveis de renda e escolaridade dos indivíduos. As famílias pobres usualmente possuem domicílios de baixo padrão construtivo, mais suscetíveis aos danos da inundação. Não possuem seguro e, se o possuem, é de baixa cobertura. O orçamento limitado impossibilita a recuperação rápida pós-desastre, uma condição para que os danos não se prolonguem no tempo. O segundo índice, de impacto, representa os fatores que intensificam os efeitos adversos da inundação, como a existência de idosos e crianças no local, a vulnerabilidade das construções e a taxa de pobreza. Os grupos localizados nos extremos da pirâmide etária tendem a possuir menor mobilidade (capacidade de deslocamento), maior dependência, menor resistência a doenças e frequentemente dispõem de menos recursos (Wisner et al., 2004). Para os residentes que ganham menos de 350 reais, a inundação assume proporções catastróficas, com possibilidade de ocorrer um processo de marginalização ou exclusão social.

A análise de risco foi feita para a planície de inundação do rio Manhuaçu com tempo de retorno de até 100 anos. Nela vivem cerca de 5.000 pessoas em 1.500 domicílios (IBGE, 2000). A renda média mensal dos responsáveis pelos domicílios sob ameaça de inundação é de aproximadamente 1.400 reais. Ante a indisponibilidade de dados, o estudo ateve-se à vulnerabilidade dos moradores e domicílios residenciais, não incorporando os setores comercial, de serviços e industrial. Para o estudo, desagregou-se a planície em unidades geográficas de análise, os setores censitários, para as quais foram levantadas as características de ameaça e vulnerabilidade das famílias. Os setores censitários constituem a unidade geográfica mínima nos recenseamentos demográficos do Brasil. As variáveis e indicadores relacionados à vulnerabilidade, obtidos no Censo Demográfico de 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2000), são apresentadas na tabela 2.

Para criação do índice de vulnerabilidade utilizou-se a análise fatorial, especificamente, o modelo de análise de componentes principais (ACP). A análise fatorial permite analisar a estrutura das inter-relações (correlações) entre um grande número de variáveis definindo um conjunto de dimensões latentes comuns, os fatores (Hair et al., 2005: 91). Supõe-se que a variância é uma medida eficiente para traduzir a importância de uma variável no conjunto.

A ACP possibilitou a criação de dois fatores: o fator 1 representa o indicador de vulnerabilidade socioeconômica (E) e o fator 2, o fator de impacto (I). Na Tabela 3 têm-se as cargas fatoriais e os coeficientes para cada fator mostrado na Equação 3.

Tabela 2. Descrição das variáveis de estudo

Variável	Conceito
Renda mensal média dos responsáveis no setor	Média da renda média nominal dos responsáveis pelo domicílio no setor censitário.
Índice de pobreza	% de responsáveis pelo domicílio no setor censitário que ganham até 350 reais ao mês.
Índice de escolaridade relativa dos responsáveis	Média ponderada dos níveis de escolaridade dos responsáveis pelos domicílios no setor censitário.
Taxa de analfabetismo	% de população analfabeta no setor.
Vulnerabilidade etária	% da população com menos de 12 anos ou mais de 65 anos de idade no setor.
Densidade domiciliar	Relação entre a população total e o número de domicílios (pessoas/domicílio) no setor.
Vulnerabilidade relativa das construções	Razão entre os danos diretos potenciais médios do domicílio (construção e conteúdo) e a renda média do responsável no setor.

Tabela 3. Cargas fatoriais e coeficientes dos fatores de análise - Área atingida pela inundação de tempo de retorno de 100 anos

Variáveis	Cargas Fatoriais		Coeficientes	
	Fator 1 (I)	Fator 2 (E)	Fator 1 (I)	Fator 2 (E)
Renda mensal média dos responsáveis	-0,079	-0,984	0,297	-0,525
Taxa de pobreza	0,524	0,825	-0,014	0,283
Índice de escolaridade relativa do responsável	-0,467	-0,873	0,060	-0,329
Taxa de analfabetismo	0,720	0,643	0,148	0,114
Vulnerabilidade etária	0,951	0,190	0,422	-0,220
Densidade domiciliar (pessoas / domicílio)	0,912	0,254	0,380	-0,171
Vulnerabilidade relativa das construções	0,742	0,308	0,274	-0,082

As cargas fatoriais mostram a correlação entre a variável e o fator em questão; a carga ao quadrado representa a quantia da variância total do fator explicada pela variável. Considera-se que cargas acima de 0,40 já são relevantes para a análise. Os coeficientes foram aplicados a cada variável para definição de um índice fatorial socioeconômico e de impacto para cada setor censitário. Os índices foram padronizados de 0 a 1, sendo que, quanto maior o seu valor, maior a vulnerabilidade socioeconômica ou de impacto.

Para combinar o índice de vulnerabilidade socioeconômica e o de impacto, efetuou-se a análise de agrupamentos (ou análise de *cluster*), o que possibilita classificar os objetos segundo suas similaridades. Como medida de similaridade foi utilizada a distância euclidiana e, como algoritmo de agrupamento, o método de *Ward*, que minimiza as diferenças internas entre os grupos.

Por meio da análise de *cluster* definiram-se cinco níveis de vulnerabilidade total: 1 a 5, representando, respectivamente, vulnerabilidade total muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Multiplicando-se o índice de vulnerabilidade total pelo índice de ameaça (1, 2 ou 3, segundo a Tabela 1), tem-se o risco total ao qual a comunidade está exposta. Ele varia de 1 a 15: níveis mais altos indicam riscos mais elevados.

3.4. Análise de Danos Diretos de Inundação

A curva de danos versus profundidade de submersão (curva DPS) mostra o valor esperado dos danos de uma edificação segundo a profundidade da inundação em seu interior. Com a utilização de inventários de danos em zonas sinistradas (avaliação *a posteriori*) ou construção de cenários de danos por meio da definição *a priori* de patologias causadas pela inundação, levantam-se os danos associados à profundidade e criam-se curvas para cada categoria de uso do solo (e.g.: residencial, comercial, prestação de serviços, industrial e área agrícola).

Machado (2005) utilizou a metodologia para estimar os danos diretos decorrentes de uma inundação de grande magnitude (tempo de retorno de 100 anos) ocorrida no ano de 2000, no vale do rio Sapucaí, estado de Minas Gerais. A pesquisa de campo foi elaborada mediante a aplicação de cerca de 1.000 questionários nos municípios de Itajubá e Santa Rita do Sapucaí para detalhamento dos prejuízos em áreas recentemente sinistradas. Foram pesquisados os setores habitacional, comercial e de serviços e as classes econômicas A, B, C, D e E. Os dados coletados possibilitaram a construção de curvas de prejuízos em função da profundidade de submersão segundo diferentes tipologias de uso do solo e renda.

Pelas suas possibilidades de generalização, este estudo utilizou as curvas DPS propostas por Machado (2005) na avaliação dos danos da inundação no setor habitacional em Manhuaçu. Os danos referem-se ao impacto direto na edificação, incluindo as avarias de vários componentes da construção, e os danos ao conteúdo das residências, como móveis, aparelhos elétricos e eletrônicos.

Inicialmente, foi feita a divisão da população em classes segundo as faixas de renda do responsável pelo domicílio (Tabela 4).

Tabela 4. Classe econômica em função do nível de renda dos responsáveis pelos domicílios

Classes	Faixa de Renda Mensal (valores em R\$)
A	> 7000
B	$3500 < x < 7000$
C	$1050 < x < 3\ 500$
D	$175 < x < 1050$
E	< 175

Para o estudo, considerou-se que seriam atingidos apenas os domicílios localizados ao nível do solo. A profundidade de inundação foi obtida para cada evento de projeto nos vários setores censitários. Ela corresponde à profundidade hidráulica da planície de inundação em cada seção transversal levantada em campo.

Com a determinação das profundidades de inundação, foram obtidos os valores de danos por metro quadrado de área construída para cada residência segundo a classe econômica do responsável.

4. RESULTADOS

As simulações realizadas para a determinação dos mapas de ameaça, vulnerabilidade e risco consideraram eventos de precipitação de projeto com duração de 2 dias, para 10 e 100 anos de período de retorno.

Realizou-se a determinação dos hidrogramas de cheia afluyente a área urbana da cidade de Manhuaçu com a utilização do modelo hidrológico HEC-HMS, versão 3.1.3 (HEC-HMS, 2002). Para o tempo de retorno de 10 anos, com altura de precipitação de 116 mm, a vazão máxima afluyente na área urbana da cidade é de 288 m³/s e para o tempo de retorno de 100 anos, com altura de precipitação de 159 mm, a vazão máxima afluyente na área urbana da cidade é de 428 m³/s.

A propagação da onda de cheia ao longo do rio Manhuaçu foi realizada com o emprego do modelo HEC-RAS, versão 2.1.2, em simulação unidimensional permanente (HEC-RAS, 2003). Para tal, foram levantadas 24 seções transversais ao longo do rio a partir de trabalho topográfico realizado nos meses de maio e junho de 2006.

A Figura 3 indica os mapas de ameaça para os tempos de retorno de 10 e 100 anos, bem como a mancha de inundação associada à ocorrência destes eventos.

A criação do índice de vulnerabilidade total foi feita a partir da análise de componentes principais. O modelo obtido explicou 90% da variância total, com o primeiro fator responsável por 74% da explicação e o segundo por 16%. A estatística KMO (*Kaiser-Meyer-Olkin Measure*),

utilizada como medida de ajuste, foi de 80,5%, e não há variáveis com valores individuais de KMO menores do que 70%, indicando adequação do modelo (mínimo aceitável de 50%). Para a combinação dos dois fatores obtidos, socioeconômico (E) e de impacto (I), utilizou-se a análise de *cluster*. A análise foi feita segundo um evento de grande magnitude, com tempo de retorno de 100 anos. Ressalte-se que a escala de vulnerabilidade total não é absoluta, mas relativa à região investigada. A Figura 4 ilustra a distribuição do índice de vulnerabilidade na região.

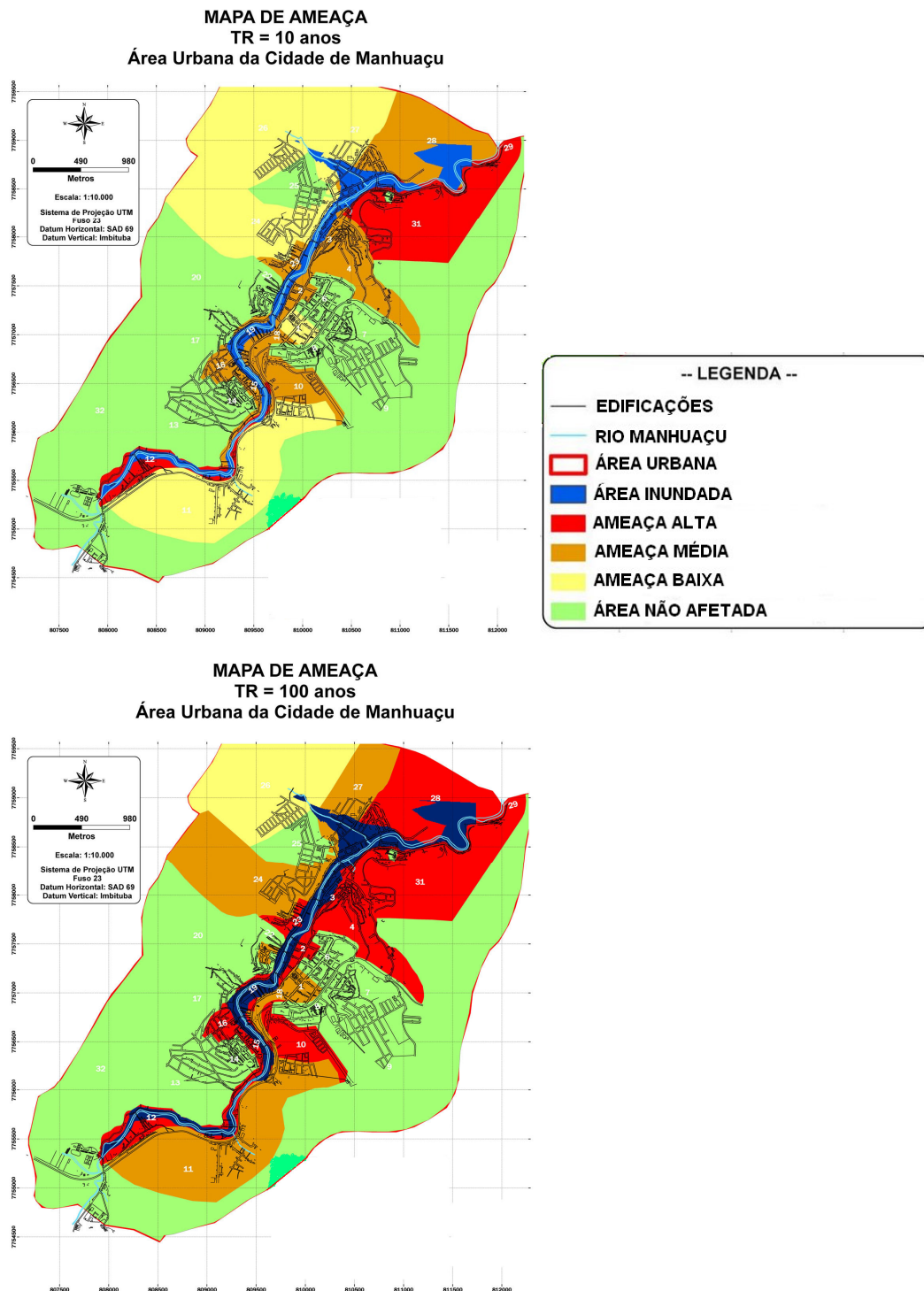


Figura 3. Mapa de Ameaça com a indicação da mancha de inundação, Manhuaçu, MG (TR 10 e 100 anos)

A Tabela 5 mostra um exemplo do resultado final do risco total e danos obtidos para alguns setores censitários sob ameaça.

Tabela 5. Índice de risco e danos potenciais da inundação por setores censitários da cidade de Manhuaçu para um evento de inundação de TR 100 anos.

Setor Censitário	I	E	VT		A		Risco (A x V _T)		Danos (x 1000)
2	0,31	0,38	Baixo	2	Alto	3	Médio	6	1.172 R\$
11	0,53	0,84	Alto	3	Médio	2	Médio	6	81 R\$
12	0,80	0,89	Muito Alto	5	Alto	3	Alto	15	1.110 R\$
27	0,90	0,00	Muito Baixo	1	Médio	2	Baixo	2	279 R\$
28	0,24	0,69	Médio	3	Alto	3	Médio	9	1.128

Observe que o setor censitário 2, embora tenha um alto nível de ameaça e de danos potenciais, possui um risco total médio, pois sua vulnerabilidade é baixa em relação aos outros setores. Seus fatores de impacto e socioeconômico estão abaixo da média. É uma região com renda média do responsável pelo domicílio de cerca de 3200 reais, valor significativo para os padrões da cidade e mesmo do Brasil. Apesar do alto valor absoluto dos danos potenciais, eles representam cerca de 9% do valor médio do domicílio (edificação e conteúdo). Em relação à renda média do responsável, representam aproximadamente 36%. Da mesma forma é o setor 27, onde a vulnerabilidade muito baixa, reflexo da vulnerabilidade socioeconômica mínima, atua como amortecedora das consequências potenciais da inundação. Em outro extremo está o setor 12, com alta vulnerabilidade, ameaça e danos. A renda média é de 630 reais e o valor dos danos representa, em média, 12% do valor do domicílio e 61% da renda anual do proprietário.

A Figura 4 e 5 indicam, respectivamente, os mapa de vulnerabilidade e de risco para o tempo de retorno de 100 anos, bem como a mancha de inundação associada à ocorrência destes eventos.

Os danos diretos totais potenciais calculados para as residências urbanas da cidade de Manhuaçu são indicados pela Tabela 6.

Tabela 6. Danos diretos totais por tempo de retorno

Tempo de Retorno	Danos (x 1000 reais)
5	4.558
10	6.985
25	8.783
50	10.392
100	11.301

Para uma noção da magnitude destes valores, observa-se que os danos referentes a uma inundação com tempo de retorno igual a 5 anos representariam, em média, para cada pessoa, 9% do valor de seu domicílio e 32% de sua renda anual. Para uma inundação com tempo de retorno igual a 100 anos, estes valores seriam, respectivamente, 13% e 54%.

Os valores dos danos diretos totais potenciais refletem as características da cidade de Manhuaçu, onde a maioria da população está distribuída entre as classes C (34%) e D (49%).

MAPA DE VULNERABILIDADE TR = 100 anos Área Urbana da Cidade de Manhuaçu

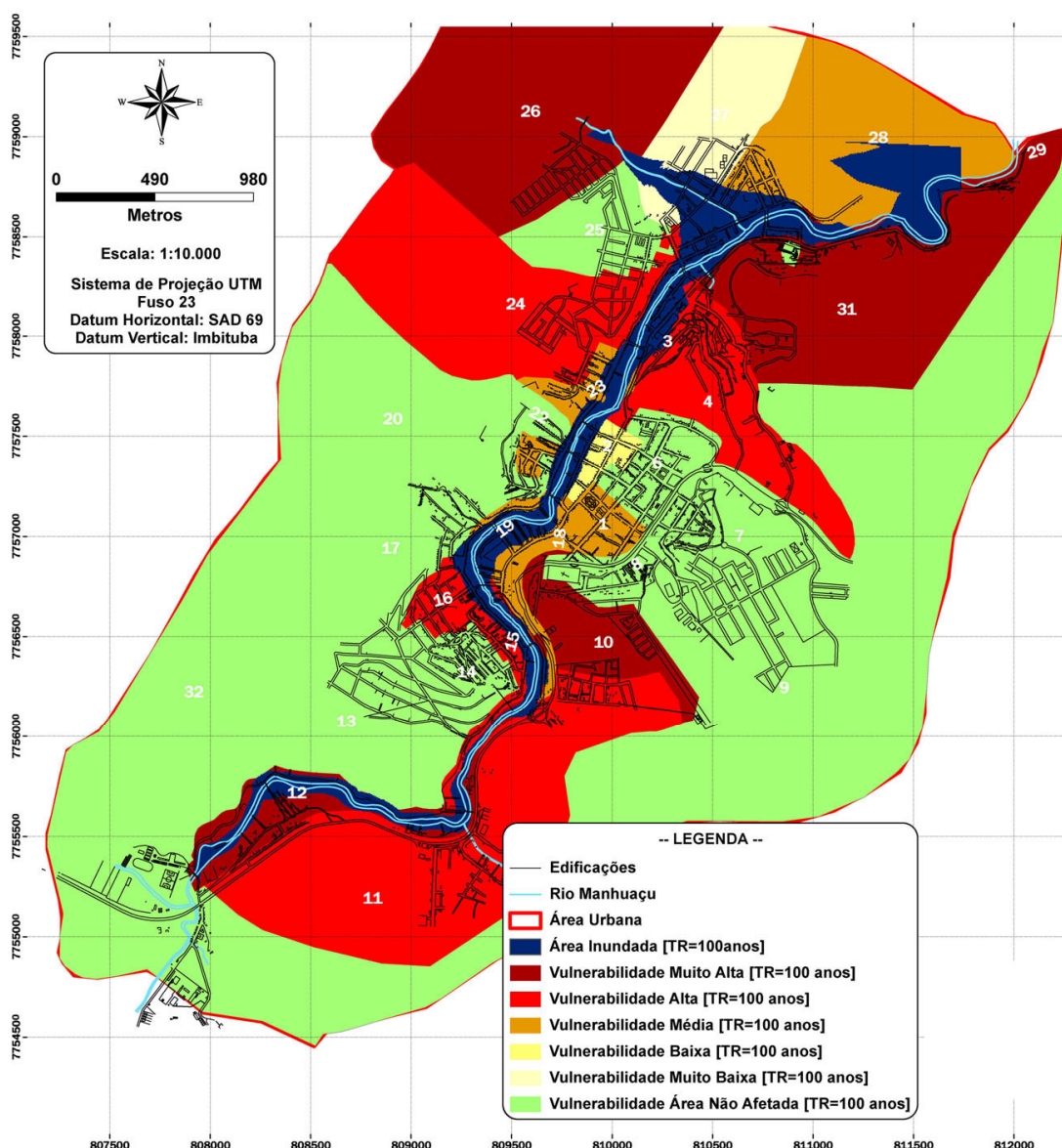


Figura 4. Mapa de vulnerabilidade com indicação da mancha de inundação, Manhuaçu, MG (TR=100 anos)

MAPA DE RISCO TOTAL **TR = 100 anos** **Área Urbana da Cidade de Manhuaçu**

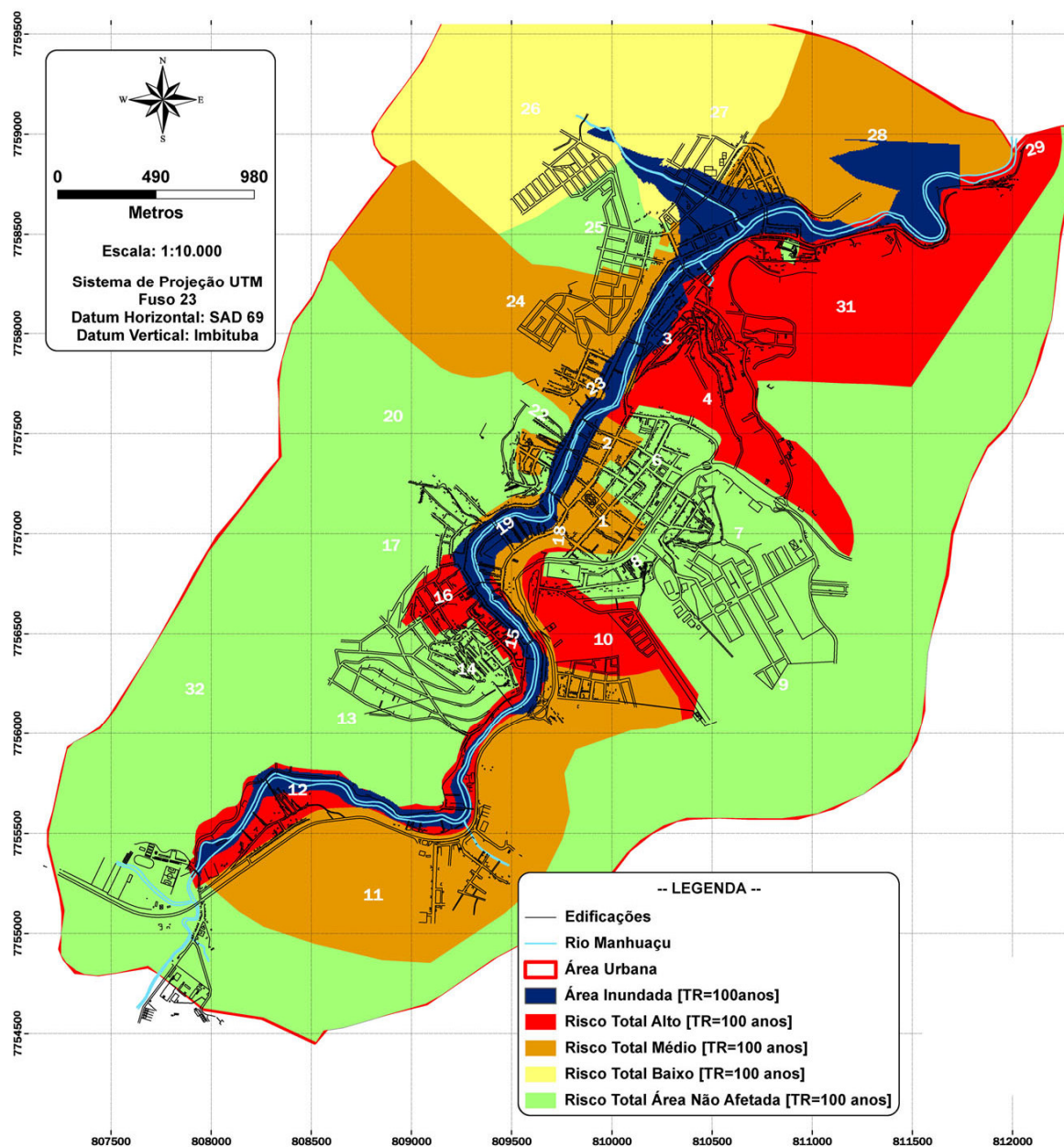


Figura 5. Mapa de risco com indicação da mancha de inundação, Manhuaçu, MG (TR = 100 anos)

5. CONCLUSÕES

Somados aos indicadores quantitativos de ameaça à inundação e a vulnerabilidade da cidade de Manhuaçu mostradas neste artigo, uma análise qualitativa na região indicou pouca capacidade da comunidade em se ajustar frente à ameaça e mitigar os danos, criando, por exemplo, medidas waterproofing nas edificações ou sistemas sociais adaptativos.

Os resultados desse estudo, com a criação de mapas de ameaça de inundação e avaliação de vulnerabilidade, constituem uma referência para a proposta de um plano de prevenção de inundação na cidade de Manhauçu que inclui como ações principais:

- Regulamentação do uso do solo a partir do risco de inundação da área;
- Recomendação da adoção de medidas locais de controle de inundação nas edificações e novos empreendimentos;
- Identificação de oportunidades para a renovação de trechos da área urbana e introdução em novas zonas de desenvolvimento de técnicas de planejamento urbano com o gerenciamento das inundações;
- Um programa de regeneração do curso d'água dentro do trecho urbanizado, incluindo a remoção de obstruções artificiais existentes no canal, o controle da poluição e um plano de manutenção do rio;
- Medidas de incentivo à participação popular, com ações de educação para a prevenção e minimização de danos associados aos eventos de inundação.

A utilização de um índice múltiplo traz benefício ao representar vários aspectos de um objeto em uma medida única. Um melhor conhecimento e quantificação dos danos possibilitam o aperfeiçoamento das avaliações econômicas de alternativas de projetos de drenagem e controle de inundações. São instrumentos relevantes no planejamento e gestão urbana e do risco, orientando a definição de políticas e de áreas prioritárias de intervenção.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor do trabalho recebe bolsa de doutorado da FAPEMIG.

Essa pesquisa foi parcialmente financiada com recursos da FAPEMIG pelo Projeto TEC 81042/03.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, Banco Interamericano de Desenvolvimento, dez. 2003. 88 p.

COURTEL, F.; LOPEZ, J. L.; BELLO, M.E.; NOYA, M. E. (2006). *Mapas de Amenaza por Inundaciones Torrenciales em El Valle de Caracas*. XXII Congresso Latino Americano de Hidráulica, Ciudad Guayanna, Venezuela, 9 a 12 de Outubro, 2006.

- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. (1979). *The Floodway: a guide for community permit officials*. US Federal Insurance Administration, Community Assistance Series, No.4.
- GREEN, C. (2005). *Assessing Vulnerability to Flooding: nodes and networks*. Londres: IDNDR WORKSHOP, Royal Society. 13 p. *Paper*.
- GREEN, C.H.; PARKER D.J.; TUNSTALL, S.M. (2000). *Assessment of Flood Control and Management Options*. Thematic Review IV.4. Cape Town: WORLD COMMISSION ON DAMS (WCD), nov. 2000, 183 p. Relatório de Trabalho. Disponível em <http://www.dams.org/docs/kbase/thematic/drafts/tr44_finaldraft.pdf>.
- HAIR, J. F. Jr.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. (2005). *Análise Multivariada de Dados*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman. 583 p.
- HEC-HMS. *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. *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.
- HANDMER, J; REED, C.; PERCOVICH, O. (2002). *Disaster Loss Assessment Guidelines*. Department of Emergency Services, State of Queensland and Commonwealth of Australia, mai.2002. 127 p.
- IBGE. (2000). *Censo Demográfico de 2000*. Disponível em <www.ibge.gov.br>.
- KELMAN, I; SPENCE, R. (2004). An overview of flood action on buildings. *Engineering Geology*, [s.l], n. 73, p. 297-309.
- MACHADO, M. L. (2005). *Curvas de Inundação versus Profundidade de Submersão: Desenvolvimento de Metodologia – Estudo de Caso da Bacia do Rio Sapucaí, Itajubá – MG*. 2 v. Tese. (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em SMARH) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. In Portuguese.
- PELLING, M. (2003). *The Vulnerability of Cities: natural disasters and social resilience*. Londres: Earthscan. 212 p.
- PREVENE. (2001). *Aporte a la Prevención de Desastres Naturales en Venezuela*. Cooperación Venezuela - Suíça - PNUD (Projeto VEN/00/005), Maio de 2001.
- READ, STURGESS and ASSOCIATES. (2000). *Rapid Appraisal Method (RAM) for Floodplain Management*, Department of Natural Resources and Environment, Melbourne, Victoria.
- WISNER, B.; BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. (2003). *At Risk: natural hazards, people’s vulnerability and disasters*. 2. ed. Londres, Nova York: Routledge Taylor & Francis Group. 471 p.