

Mapeamento da susceptibilidade à inundação em áreas urbanas: o caso da cidade de Montes Claros-MG

Marcos Esdras Leite*
André Medeiros Rocha**

Resumo

O Brasil tem registrado nas últimas décadas aumento populacional gradativo, com incremento evidente de sua popula o urbana, em compara o com sua popula o rural. Paralelamente a isso, o Banco de Dados de Desastres Internacionais do Centro para Pesquisa em Epidemiologia dos Desastres (EM – DATA/CRED, 2013) permite avaliar que desde o início do século XX os registros de desastres naturais, principalmente as inunda es em cidades em processo de urbaniza o tiveram aumento progressivo. O município de Montes Claros/MG, nesse aspecto, foi identificado em estudo realizado pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC, 2011) com alta taxa de ocorrências de inunda es graduais. Nesse contexto, o presente estudo objetivou, usando de técnicas de Sistemas de Informa o Geográfica (SIG) e de Estatística, analisar as áreas propensas a inunda o na cidade de Montes Claros, a partir da gera o do modelo de susceptibilidade a inunda o urbana. Como resultante, o modelo constatou que embora a CEPED/UFSC (2011) identifique Montes Claros com maior número de Inunda es Graduais do Estado, menos de 8% do perímetro de estudo   propenso aos efeitos do fenômeno descrito;

* Doutor em Geografia (UFU) e Professor do Programa de Pós-Gradua o em Geografia – PPGeo/UNIMONTES (marcosesdras@ig.com.br).

** Graduado em Geografia (UNIMONTES) e Mestre pelo Programa de Pós-Gradua o em Geografia – PPGeo/UNIMONTES (andremedeiros197@hotmail.com).

observando que a maior parte da área de estudo (70,6%) possui média ou média-baixa susceptibilidade ao evento. O estudo aponta que tal caráter de risco às inundações graduais apresentado pelo mencionado órgão a cidade possa estar associado à distribuição da população que, possivelmente, está alocada próxima aos canais fluviais e, nesse sentido susceptível aos efeitos de inundações graduais.

Palavras-chave: Inundações urbanas; Modelo de susceptibilidade; SIG.

Mapping of susceptibility to flooding in urban areas: the case of the city of Montes Claros-MG

Abstract

Brazil has registered in the last decades a gradual population increase, with evident increment on its urban population in comparison to its rural one. Parallel to it, the International Disaster Database of Centre for Research on The Epidemiology of Disasters (EM – DATA/CRED, 2013) permits evaluate that since the beginning of 20th century, the registers of natural disasters, mainly floods, in the centers in process of urbanization had progressive increase. The municipality of Montes Claros/MG, in that aspect, was identified in study carried out by the University Center of Studies and Research about Disasters of the Federal University of Santa Catarina (CEPED/UFSC, 2011) with high rate of occurrence of floods. In this context, the current study aimed, using techniques from Geographical Information System (GIS) and Statistics, to analyze the prone areas to flooding in the city of Montes Claros, through the generation of susceptibility model to urban flooding. As a result, the model noticed that, although the CEPED/UFSC (2011) identifies Montes Claros with high number of Gradual Floods in the state, less the 8% of the study perimeter is prone to the effects of the described phenomenon, observing that the great part of the study area (70,6%) have medium or medium-low

susceptibility to the event. The study so raise the hypothesis the risky to gradual floods presented by mentioned organ to municipality can be associated to population distribution which possibly is situated near the fluvial channels and, in that sense, susceptible to the effects of gradual floods.

Key words: Urban flood; Susceptibility model; GIS.

Introdução

O aumento dos registros de desastres naturais no Brasil, especialmente no que se refere às inundações, ocorreu muito condicionado a intensa urbanização processada nas últimas décadas. Acerca disso, o referido país, que até 1960 configurava-se como predominantemente rural, passa a ser majoritariamente urbano na década de 1970, quando atinge taxa de urbanização de 55,9%, conforme apontado pelo Censo Demográfico de 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – IBGE. Nos 40 anos posteriores, a população urbana brasileira registrou aumento relativo de 204% em relação à população de 1970, aumento absoluto de cerca de 102 milhões de habitantes (IBGE, 2010). Por sua vez, o Banco de Dados de Desastres Internacionais - Centro para Pesquisa em Epidemiologia dos Desastres – EM-DATA/CRED (2013) permite contabilizar que da totalidade de 118 eventos de inundações ocorridas no Brasil, desde o início do século XX, 91 ocorrências foram registradas somente nos últimos 33 anos; sendo que nas décadas de 1940 (período de primeiro registro), 1950, 1960 e 1970, o número de registros decenal foi de 1, 2, 13 e 11, respectivamente; enquanto que nas décadas de 1980, 1990 e 2000, os valores registrados atingiram 23, 20 e 48, respectivamente.

Os dados apresentados, por um lado, não indicam simples coincidência do aumento paulatino da população urbana brasileira, a partir de 1970, ter ocorrido paralelamente ao crescimento do número de ocorrências de inundações. Esse fato, no entanto, decorre, preponderantemente, dos efeitos produzidos pela urbanização. Com relação a isso, Tucci (2003) ratifica o fato de que embora as

inundações não constituam eventos particulares nas últimas décadas, visto que o homem primitivo sempre buscou se instalar nas proximidades de cursos fluviais por necessidades de transporte e de consumo e, nesse sentido, estaria eminentemente sujeito aos efeitos das inundações. A urbanização desencadeada recentemente foi acompanhada por processos de impermeabilização do solo, ocupação de planícies de inundação e construção de sistemas de drenagem deficientes, que conjuntamente contribuíram para o aumento gradativo da vulnerabilidade das populações expostas ao fenômeno das enchentes.

Semelhante ao cenário apresentado, a cidade de Montes Claros/MG, foco desse estudo, tem registrado sazonalmente eventos de inundações progressivas e; acerca disso, o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina, CEPED/UFSC (2011), em volume publicado acerca das inundações registradas no Estado de Minas Gerais, no período entre 1991 a 2010, identificou Montes Claros com maior número de afetados (135,6 mil indivíduos) nas cinco vezes em que decretou situação de emergência em virtude da ocorrência de inundações graduais. Ademais, em concordância com os fatores apresentados por Tucci (2003), a CEPED/UFSC (2011) confirmou que as inundações ocorridas em março de 2006, na cidade de Montes Claros, particularmente, na porção sul da cidade, estão associadas ao fato dos córregos Bicano e Mangues, diante do aumento da precipitação, não terem suportado o volume de água a eles sujeitos.

Logo, em vista da situação posta, o presente estudo teve como objetivo analisar as áreas propensas a ocorrência de inundações na cidade de Montes Claros/MG, a partir da construção do modelo de susceptibilidade a inundação urbana, usando os parâmetros morfométricos, Hipsometria, Declividade e Fluxo de Acumulação. Para tais fins, as citadas variáveis foram extraídas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), tendo por base as curvas de nível de equidistância de 5 metros disponibilizadas pela Companhia Mineira de Saneamento Básico (COPASA).

Referencial teórico

O fenômeno das inundações tem apresentado consideráveis aumentos no número de ocorrências nas últimas décadas e se concretizado como iminente fator de risco nos espaços urbanos, e por tais razões se tornou assunto alvo de comum discussão. No entanto, estudos relativos às inundações revelam que embora o fenômeno apresente conotação aparentemente simplista, o mesmo é referido com diversas terminologias. Acerca disso, Goerl e Kobiyama (2005) observam que o termo inundação, geralmente é associado a termos como enchentes, inundações graduais, inundações repentinas, inundações ribeirinhas, alagamentos dentre outras, sendo que os referidos autores alertam, ainda, que tais designações se refiram a um processo similar, não representam um mesmo elemento conceitual. Dessa forma, a proposta de mapeamento das áreas propensas a inundações e a identificação de tipologias do mencionado fenômeno na cidade de Montes Claros requer que tais termos sejam enfaticamente esclarecidos para que análises equivocadas não sejam efetuadas, para tanto, o estudo em pauta fará uso de pesquisas divulgadas na literatura como arcabouço teórico para análise comparativa a nível semântico dos termos que comumente estão atrelados à ideia de inundação.

A primeira análise a ser apresentada faz menção aos termos enchente e inundação, os quais autores como Goerl e Kobiyama (2005), Guerra e Guerra (2009) e Christofolletti (2000) apontam tais terminologias como divergentes ou não totalmente equivalentes, enquanto que autores como Tucci (2003) e Castro (2003) avaliam tais termos como de mesma conotação, sendo assim, sinônimos. Goerl e Kobiyama (2005) avaliam os termos segundo o qual as enchentes constituem fenômeno em que as águas fluviais elevam-se até o limite das margens do curso fluvial devido a forte precipitação ou a fatores de outra natureza, sem, contudo, ocorrer o seu transbordamento. As inundações, nessa lógica, configuram a situação na qual as águas fluviais ultrapassam tal limiar, convergindo-se sobre as áreas adjacentes. Dessa forma, os

supracitados autores deixam claro que tais termos seguem determinada escala evolutiva no qual a inundação sucede a enchente e, ainda afirmam que termos usuais como Inundações graduais, inundações bruscas e inundações costeiras estão associadas a tipologias do evento inundação, diferenciadas pela sua velocidade ou local de ocorrência.

Guerra e Guerra (2009) e Christofolletti (2000), por outro lado, ao descreverem os tipos de leitos que compõem um dado canal fluvial, mencionam o termo enchente como sendo evento de caráter irregular que   ocasionado por condições de forte precipitação na qual se caracteriza pela eleva o das águas fluviais até o limite do leito maior excepcional. Logo, considerando o fato de que os limiares entre os termos leito menor, leito maior e leito maior excepcional não sejam muitos precisos conforme reiterado pelos autores acima, em ocasião de precipitação, um dado rio perene normalmente apresenta suas águas fluviais elevando-se e ultrapassando os limites de suas margens, cobrindo naturalmente seu leito maior. Este evento configuraria situa o de inundação, por isso tal planície recebe a designa o de “de inundação”, por sazonalmente estar sujeita a tais efeitos. A inundação do leito maior excepcional, a chamada enchente, de outra forma,   de ocorrência irregular, pois está associada a grandes cheias. Os apontamentos acima, no entanto, levam a interpreta o dos termos inundação e enchente numa escala evolutiva inversa a apresentada por Goerl e Kobiyama (2005), no ponto em que a enchente constituiria uma fase relativamente avançada da ideia de inundação. Assim, observa-se que a utiliza o dos termos inundação e enchente variam de autor para autor, e um dado evento tomado em sua particularidade pode ser classificado como inundação ou enchente, ou ainda interpretado como associado a ambos os termos.

De modo diferente, as tipologias de inundações apresentam maiores consensos na literatura. Acerca disso, Castro (2003) diferencia fundamentalmente 4 tipos de inundações: graduais, bruscas, litorâneas e alagamentos. As Inundações Graduais ou

Enchentes constituem tipologia de inundação caracterizada pela elevação e transbordamento das águas do canal fluvial de forma lenta e gradual, em virtude, principalmente, de períodos prolongados de precipitação, sendo ainda cíclicas e com extensas áreas de abrangência. As Inundações Bruscas ou Enxurradas, por outro lado, ocorrem de modo inverso, representando tipo de inundação em que elevação das águas fluviais é rápida e violenta, com ocorrência devido a precipitações intensas e concentrada. Adicionalmente, tais inundações apresentam raio de atuação menor que o das inundações graduais, sendo características de terrenos acidentados, princípio fundamental do forte escoamento. Com relação às inundações graduais e bruscas, Tucci (2003) faz menção às mesmas denominando o fundamento básico de sua ocorrência como Inundações Ribeirinhas, por ocorrer quando o volume de água submetido a um dado canal fluvial é superior a sua capacidade normal de drenagem, o que se concretiza com a inundação de suas áreas adjacentes. De outro modo, utilizando-se dos conceitos de Guerra e Guerra (2009), tais fenômenos ocorreriam essencialmente na planície de inundação, leito maior, terraço ou várzea do canal fluvial, por determinada área ser alvo natural e direto do fenômeno no período das cheias.

Por conseguinte, Castro (2003) traz em cena as Inundações Litorâneas que são referidas por Inundações Costeiras em Goerl e Kobiyama (2005), sendo que tal tipologia é caracterizada por ocorrer em áreas costeiras por brusca invasão do mar devido ações de fenômenos como tsunamis, ciclones e tempestades marítimas. Por último, Castro (2003) destaca os Alagamentos (ou Inundações da Drenagem Urbana, conforme Tucci, 2003) a qual são gerados, principalmente, devido o sistema de drenagem urbana se apresentar deficiente em ocasiões de precipitação, não suportando, dessa forma todo o escoamento superficial a qual é submetido aos leitos das ruas. Com relação a essa tipologia, Tucci (2003) reitera que tal fenômeno tem apresentado certo aumento em virtude do crescimento desordenado que as cidades vêm apresentando, com mudanças que naturalmente tem afetado o sistema de drenagem da

porção da bacia a qual o centro urbano está localizado; os alagamentos, nessa ótica, constituem consequência direta.

Diante dos conceitos expostos e a situação de aumento do número de ocorrências de inundações, cabe avaliar nesse instante o real significado de tal fenômeno. Para tanto, partindo-se de escritos de Tucci (2003), as inundações seriam interpretadas em primeira instância como um fenômeno de caráter essencialmente natural, por ocorrer a um canal numa lógica sistêmica e independente da ação humana sempre que a água precipitada sobre o referido curso fluvial superar a capacidade de seu leito menor. Nessa ótica, a inundação ocorre como um fenômeno de ordem natural sem, contudo ter outro significado. No entanto, o referido autor reconhece que desde o aparecimento das primeiras civilizações, o homem, geralmente, buscou residir próximo a canais fluviais devido a suas variadas necessidades e, por tal razão, estaria, sazonalmente, sujeito a seus efeitos.

Nesse novo contexto, as inundações teriam um significado diferente. Alguns autores como Dagnino e Carpi Júnior (2007) e Veyret (2007) definem tal fenômeno como pertinente a um conjunto de fenômenos que formam os chamados riscos naturais ou em alguns casos riscos sociais. Tal proposição de imediata forma leva a indagação do conceito de risco e sobre isso Veyret (2007) corrobora afirmando que o mencionado termo se refere à percepção por parte de um indivíduo, grupo social ou população da probabilidade de um evento de caráter perigoso ou que ofereça ameaça ocorrer a eles em virtude de estarem expostos ou susceptíveis aos seus efeitos. No presente conceito, apresentado pelo trabalho de Dagnino e Carpi Júnior (2007), dois elementos fundamentais da noção de risco são identificados: a vulnerabilidade e a ameaça.

A vulnerabilidade, inicialmente, apresenta-se como o nível de exposição que uma dada população apresenta diante de um evento de caráter perigoso (VEYRET, 2007). Dessa forma, afirmar que uma dada população se apresenta como vulnerável ao fenômeno das inundações ou possui certo nível de susceptibilidade

diante de seus efeitos significa também dizer que o referido grupo social não está isenta aos efeitos oriundos do fenômeno das inundações ou que a mesma está apta a sofrer as consequências de sua ocorrência. A ameaça, por sua vez, considerando o exemplo das inundações, é compreendida como sendo o evento propriamente dito que há de oferecer perigo a determinada população. Dessa forma, para que o risco às inundações, a exemplo, possa ser real, torna-se necessário indubitavelmente que exista uma população ou indivíduo capaz de sofrer seus efeitos (vulnerabilidade), assim como condições necessárias para que as inundações possam ocorrer (ameaça).

Diante dessas colocações e dos dados obtidos pela Defesa Civil de Montes Claros, pode se afirmar que o fenômeno das inundações nessa cidade tem gerado vítimas, com perdas materiais e financeiras. Portanto, esses registros mostram que existem áreas de risco às inundações, no entanto, a proposta deste artigo é apontar as áreas vulneráveis à inundações, haja vista que não serão correlacionados fatores sociais ao mapeamento aqui apresentado. Dessa maneira, a proposta do trabalho é trazer o apontamento de áreas que apresentam características morfométricas que potencializam as inundações em área urbana.

Materiais e métodos

Caracterização da área

A área de estudo do presente trabalho constitui o perímetro da COPASA, conforme consta na figura 1, a qual representa 75,5% do perímetro urbano de Montes Claros e 95,4% da área pertinente aos bairros. A referida área está situada no polígono limitado pelas coordenadas 16°39'50,4" e 16°47'38,4" de latitude S e 43°47'52,8" e 43° 54' 21,6" de longitude W, no município de Montes Claros, localizado na mesorregião Norte do Minas do estado de Minas Gerais. Ademais, o município de Montes Claros possui população de 361.915 habitantes, dos quais 95,2% (344.427 habitantes) perfazem a porção urbana. Nesse ponto, o Sistema Nacional de

Informações sobre Saneamento – SNIS (2010) aponta que 100% da população urbana acima é atendida por serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

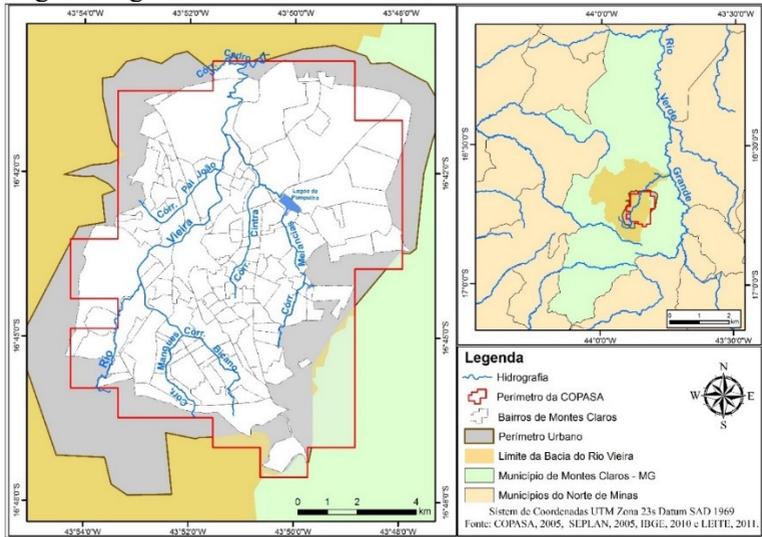


Figura 1: Localização e Área de Abrangência do Perímetro da COPASA

Materiais e métodos

Considerado os tipos de inundações apresentados no referencial teórico, o modelo pretendido nesse artigo objetiva indicar especialmente as áreas susceptíveis à ocorrência de inundações graduais (inundações ribeirinhas), sendo secundária a indicação das áreas propensas à alagamentos. As inundações graduais/bruscas, embora sejam diferentes conforme apontado por Castro (2003), as mesmas igualam-se no ponto em que são formadas a partir do momento a qual a quantidade de água submetida ao canal fluvial é superior à sua capacidade de escoamento, levando, dessa foram, ao transbordamento de suas margens. Nesse contexto, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2014) indica o uso de

variáveis morfométricas para mapeamento de susceptibilidade a inundações, por constituírem elementos permanentes e predisponentes da superfície que quando associadas a eventos de precipitação favorecem a ocorrência do fenômeno.

Logo, em vista do tipo de inundações, a qual a pesquisa busca contemplar, e as considerações do IPT e CPRM (2014), o mapeamento a ser apresentado neste trabalho optou por adotar as variáveis hipsometria, declividade e fluxo de acumulação como base. Tal escolha é justificada pelas variáveis representarem os desníveis do relevo (ou suas variações altimétricas) e os pontos de acumulação do escoamento superficial. Portanto, essas variáveis estão associadas diretamente às condições topográficas que levam ao transbordamento do canal fluvial e, conseqüentemente, à inundação.

No que se refere à construção do mapeamento, a metodologia empregada ampara-se nos trabalhos de Santos, Louzada e Eugênio (2010) e Magalhães et al. (2011). Na continuidade da metodologia, o mapeamento de susceptibilidade, propriamente dito, seguiu três etapas, sendo a primeira composta pela geração das variáveis, a segunda pela construção do modelo e, por fim, a terceira tratou da geração da escala de susceptibilidade a inundação. Cabe ressaltar que todos os procedimentos metodológicos (da geração das variáveis até confecção de mapas) ocorreram na interface do software *ArcGIS* 10.2.1.

Na primeira etapa, as curvas de nível de equidistância de 5 metros do ano de 2008, geradas pela Companhia Mineira de Saneamento Básico (COPASA), a partir da coleta de pontos em GPS geodésico, foram utilizadas para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE), a qual serviu de base fundamental para geração das variáveis morfométricas. O MDE, por sua vez, tal como é definido por Florenzano (2008), constitui uma tipologia de Modelo Numérico de Terreno em que cada pixel (unidade mínima do arquivo matricial ou raster) representa a superfície por meio de valores altimétricos. Assim, as variáveis acima selecionadas atendem como parâmetros morfométricos, por serem índices

quantitativos para caracterização do relevo ou da superfície terrestre.

A hipsometria ou altimetria, conforme apresentado por Valeriano (2010), constitui derivação geomorfométrica local de ordem zero do MDE em que representa a altitude em relação ao nível do mar. Nesse modelo, objetivando representar a variação hipsométrica, ao longo da área de estudo, e ao mesmo considerando sua lógica de distribuição, a hipsometria foi dividida em 13 classes, com amplitude de 15 metros para a primeira classe, 10 metros para as classes 2 a 11 e 100 e 140 metros, respectivamente, para as duas últimas classes. Tal classificação justifica-se pela amplitude altimétrica da área urbana ser alta e estar concentrada entre as altitudes de 600 a 700 metros.

A declividade, por sua vez, representa o nível de inclinação de uma determinada superfície, calculada em graus ou em porcentagem, e constitui derivada de primeira ordem do Modelo Digital de Elevação. No presente trabalho, a mesma foi segmentada em 7 classes, constituindo adaptação da escala proposta por Florenzano (2008).

O fluxo de acumulação, por outro lado, representa superfície matricial em que cada célula ou pixel é identificada pela quantidade de pixels que convergem ou confluem para ela do ponto de vista hidrológico (JENSON e DOMINGUE, 1988). Para fins de elaboração do modelo, assim como realizado pelo IPT e CPRM (2014), não foram considerados todos os fluxos de acumulação apresentados pelas células da área de estudo, precisou-se definir um limiar. Nesse ponto, foram consideradas como canais de acumulação somente as células com valor numérico superior ou igual a 10 mil (isto é, convergência entre 10 mil a 3,5 milhões de células para cada pixel de 25 m²), pois o reticulado de tais células foi a que mais se aproximou dos canais fluviais da área urbana de Montes Claros e por constituírem também os canais em que ocorrência de inundações tem caráter mais provável.

Após identificação dos canais, os mesmos serviram de base para definição das classes de distâncias dos canais fluviais (3^a

variável do modelo). Assim, a rede fluvial encontrada foi submetida à classificação hierárquica de Strahler (1957), pois os canais fluviais da área de estudo não apresentam igual número de afluentes (tributários) e, conseqüentemente, estão sujeitos a diferentes volumes de escoamento. A hierarquia fluvial (*H_f*) realizada apontou existência de canais de até 4ª ordem e para efeito de definição das classes de distâncias, considerou-se como parâmetro o fato da rede fluvial da cidade de estudo ser circundada por ruas, avenidas e construções comerciais e residenciais majoritariamente (não existindo nesse caso Áreas de Preservação Permanente – APP). Dessa forma, em caso de inundações graduais, tais estruturas urbanas são atingidas primeiramente. As distâncias-padrão a serem considerada foram os valores de 50, 40, 30 e 20 metros para os canais de 4ª, 3ª, 2ª e 1ª ordens, respectivamente; tendo por base que os canais de 4ª ordem constituem os cursos que recebem maior escoamento, ao passo que os fluxos de 1ª ordem estão associados à menor escoamento de montante. Diante do exposto, alcançou-se no final desta etapa 7 classes de distâncias dos canais de acumulação, variando naturalmente em função da hierarquia fluvial.

Por conseguinte, na 2ª etapa, foi realizada a construção do modelo, dividido em duas fases: 1) a ponderação das classes das variáveis e 2) a geração do modelo. Inicialmente, as classes pertinentes a cada uma das 3 variáveis do modelo (tabela 1) foram ponderadas, segundo seu nível de susceptibilidade a inundações, em uma escala de variação de 1 a 13, sendo a alta propensão às inundações representada pelo valor 13 e a baixa pelo valor 1.

Após ponderação das classes das variáveis, ocorreu a construção do modelo em que as variáveis foram submetidas ao cálculo de média aritmética, através da ferramenta *CellStatistics*. Dessa forma, no produto final, cada pixel da matriz de susceptibilidade a inundações é representado pela combinação das três variáveis definidas, sendo que sua média serve para identificação do nível de propensão ao fenômeno.

Tabela 1: Distribuição dos pesos das variáveis do modelo

DISTÂNCIA DOS CANAIS FLUVIAIS					
	Hierarquia Fluvial (Hf): Strahler (1957)				
	1^a	2^a	3^a	4^a	Pesos
Classes de Distância (m)	20	30	40	50	13
	40	60	80	100	11
	60	90	120	150	9
	80	120	160	200	7
	100	150	200	250	5
	200	300	400	500	3
	>200	>300	>400	>500	1
DECLIVIDADE					
Classes	Pesos	Classes	Pesos	Classes	Pesos
Relevo Plano	13	6,1% a 20%	7	50,1% a 100%	3
0,01% a 2%	11	20,1% a 50%	5	> 100%	1
2,1% a 6%	9				
HIPSOMETRIA					
Classes	Pesos	Classes	Pesos	Classes	Pesos
585 a 600m	13	640 a 650m	8	680 a 690m	4
600 a 610m	12	650 a 660m	7	690 a 700m	3
610 a 620m	11	660 a 670m	6	700 a 800m	2
620 a 630m	10	670 a 680m	5	800 a 940m	1
630 a 640m	9				

A construção da escala de susceptibilidade configura a 3^a etapa (figura 2), no qual foram definidos 7 níveis de susceptibilidade a inundações, em que cada nível é representado por um valor central que constitui a confluência de variáveis de mesmo peso. Dessa forma, cada pixel é identificado pela média aritmética dos pesos das classes que o caracterizam, sendo seu nível de propensão a inundações definido pela classe de susceptibilidade cujo valor central mais se aproxima da média do pixel.



Figura 2: Escala de Susceptibilidade a Inundação

Resultados e discussão

Com relação aos resultados obtidos por meio do cálculo de média aritmética, o gráfico 1 abaixo apresenta a distribuição relativa (%) das 7 classes de susceptibilidade, na qual os 100% representam os aproximadamente 113km² do perímetro de estudo. Conforme contabilizado, as 3 classes de maior presença segundo ordem de importância foram a Média-Baixa, a Média e a Média-Alta com respectivamente 39,8% (45,2km²), 30,8% (34,9km²) e 13,2% (14,9km²). A classe Baixa contabilizou 8,5% ou 9,7km² da área de estudo, sendo, dessa forma, a classe de predominância intermediária. As classes Alta, Altíssima e Baixíssima, por sua vez, contemplaram menores proporções da área de estudo, com destaque em específico para as últimas duas que somaram juntas menos de 2% do perímetro mapeado.

Quanto ao resultado atingido, deve-se ressaltar que as variáveis do modelo não contribuíram igualmente para o nível de susceptibilidade registrado por cada pixel, sendo atestada pelo seu alto valor do Coeficiente de Variância (entre 50 a 60%, predominantemente) na área de estudo e poucas áreas com valor do CV igual a 0% (0,8% do terreno mapeado). Diante disso, destaca-se que a variável declividade apresentou maior influência sob 3 classes: a média-baixa, a média e a baixa; ao passo que as demais classes apresentaram contribuições de forma mais equitativa das

variáveisou menor dispersão, sendo caracterizadas por coeficientes de variância mais próximos de zero.

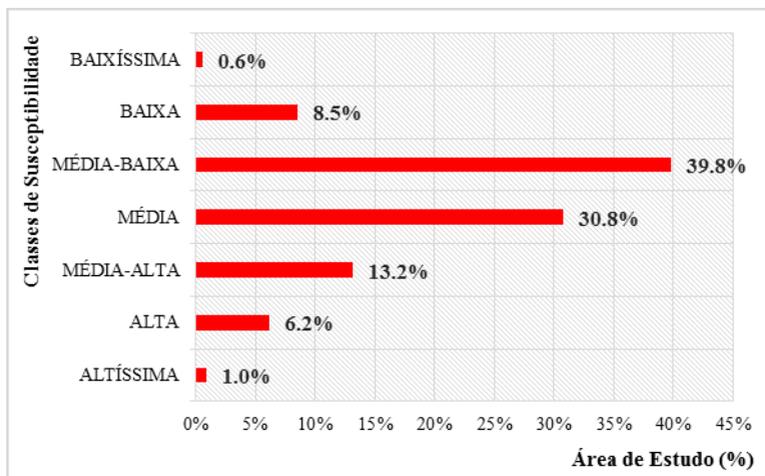


Gráfico 1: Distribuição do Perímetro de Estudo segundo Classes de Susceptibilidade a Inundação

Em continuidade, a figura 3 será utilizada para efeito de análise da distribuição das classes de susceptibilidade a inundações de forma isolada, objetivando de outro modo a identificação das classes de variáveis características a cada uma. Com relação as classes Média-Baixa e Média, observa-se que as mesmas apresentaram diferença de localização geomorfológica, em relação as demais classes, por situarem, majoritariamente, em áreas de interflúvios e planaltos, entre os canais de acumulação. A classe média-baixa apresenta 75,8% de sua área localizada na altitude entre 640 a 680 metros, com aproximadamente 88,7% de seu terreno situado em declives de 2,1% a 20%. A classe média, por sua vez, apresentou-se em altitude menos elevada, entre 620 a 660 metros (correspondendo a 71,4% da área). E, embora a inclinação do terreno se mostrasse, a certo ponto, similar a média-baixa, as maiores proporções (27,45%) de áreas de relevo plano

foram identificadas. Ademais, deve-se frisar que as duas classes mencionadas apresentaram, respectivamente 96% e 75% de suas área situadas a distâncias de mais de 250metros de canais de 4ª ordem e 100metros de canais de 1ª ordem.

Em oposição as classes anteriores, a classe Média-Alta está situada em áreas mais rebaixadas, estando 74,1% de seu perímetro concentrado entre as altitudes de 610 a 650metros. Nesse ponto, observa-se que a referida classe apresentou-se mais próxima dos canais de acumulação, estando pouco mais de 70% de sua área inscrita a distância máxima de 200metros de canais de 4ª ordem e a 80m de fluxos de 1ª ordem. Tais áreas representam ponto vista geomorfológico as porções mais externas das planices de inundações dos córregos da área estudo. A declividade, por sua vez, portou-se semelhante asclasses Média-Baixa e Média, com maiores porções de relevo plano (cerca de 27%).

Por conseguinte, as classes Alta e Altíssima foram identificadas como os níveis de susceptibilidade com maior proximidade dos canais de acumulação. E foiconfirmado pela primeira concentrar 79,4% de sua área a uma distância máxima de 40metrose 100metrosdos canais de 1ª ordem e 4ª ordem, respectivamente. Enquanto, que a segunda classe (Altíssima) registrou valores mais elevados, 99,7% do perímetro nas classes de distâncias mencionadas.Em consonância, a declividade das classes Alta e Altíssima mostrou-se concentrada em classes de reduzida inclinação do terreno; tendo a primeira 92,5% de sua área situada em declives inferiores a 6% e a segunda, concentrando 99% de seu perímetro em declives inferior a 2%.

Com relação a Hipsometria, as classes Alta e Altíssima predominaram em áreas de menor altitude do perímetro de estudo, sendo que a primeira apresentou 78,3% de sua área situada entre na faixa de 600 a 640metros. A altíssima, por outro lado, registrou 100% de sua área em altitudes inferiores a 620metros. As informações então apresentadas servem para constatar que as referidas classes constituem as áreas que são drenadas diretamente pelos canais fluviais da área de estudo e, de outro modo, perfazem

as porções das planícies de inundações dos cursos que são impactadas em primeira instância em caso de evento de inundações.

As classes Baixa e Baixíssima, por fim, encerram tal como as classes de menor susceptibilidade a ocorrência de inundações, indicado em primeira instância por estarem respectivamente com 99,5% e 100% de suas áreas a mais de 200metros e 500metros de canais de 1ª e 4ª ordem. Aliado a isso, a classe Baixa está situada na ordem de 96,2% em áreas com altitudes acima de 680metros, com predominância na faixa altimétrica 700 a 800metros. Ademais, a declividade mostrou-se predominância (84,6% de sua área) concentrada em declives variando de 6 a 50%. Devido a tais características, a classe baixa apresentou-se restrita a poucas áreas, sendo identificada, predominantemente, na porção de extremo oeste, noroeste, sul e sudeste da cidade de Montes Claros perímetro de estudo, com destaque em especial para 11 bairros, a saber: Alterosa, Parque Verde, Vila São Francisco de Assis, Santa Rafaela, Santo Amaro, Bela Paisagem, Duque de Caxias, Nossa Senhora das Graças, Morrinhos (porção central), Ibituruna e Jardim Liberdade que contabilizam individualmente entre 10% a 65% de sua área a classe de susceptibilidade baixa.

Na classe Baixíssima, por outro lado, mostrou-se presente em áreas de altitudes extremas (considerando a amplitude altimétrica do perímetro) e declives mais acetuados, quando comparado a classe anterior. A classe mencionada, nesse contexto, apresentou 97,3% de sua área em declives superiores a 50%, podendo atingir em alguns pontos valores de até 178%. As altitudes, por sua vez, predominaram em 99,7% como superiores a 700metros, atingindo valores inferiores em poucos áreas, não se mostrando presente em pontos abaixo de 680metros de altitude. As características então apresentadas acabam por restringir sua ocorrência às porções extremo oeste, noroeste e sudeste do perímetro, sendo identificada em apenas 4 bairros, a saber: Santo Amaro, Parque Verde, Ibituruna e Vila São Francisco de Assis.

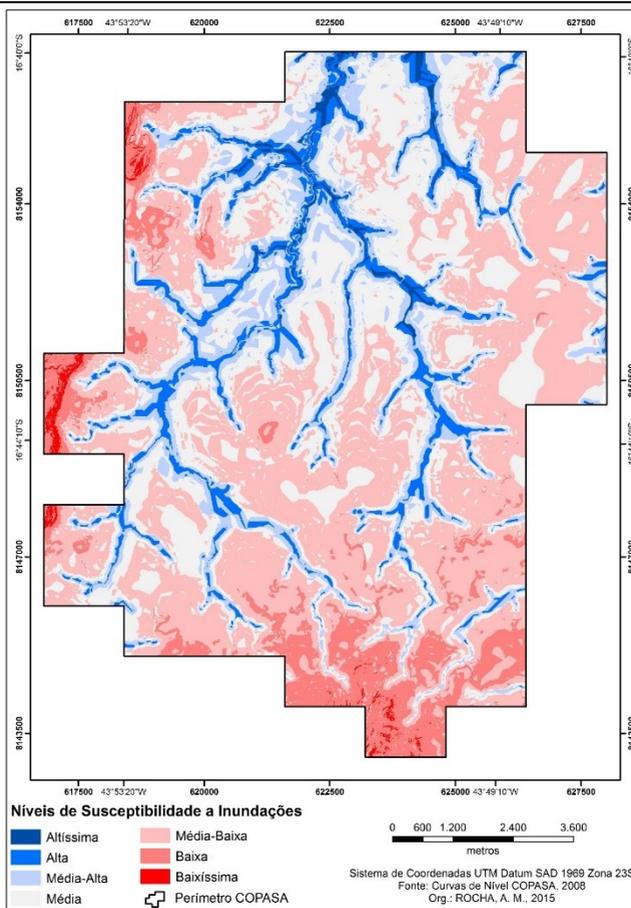


Figura 3: Níveis de Susceptibilidade a Inundações do Perímetro da COPASA.

Diante do exposto, as características pertinentes a cada classe de susceptibilidade associadas a figura 3 permitiram concluir que a ocorrência de inundações graduais e bruscas (CASTRO, 2003) ou ribeirinhas (TUCCI, 2003) estão restritas mais especificamente as classes Altíssima e Alta, devido estarem

situadas em relevo rebaixado, constituindo nesse sentido depressões relativas. Tal situação é intensificada, de outro modo, pelo relevo dessas áreas ser aplainado, o que corrobora para a estagnação do escoamento oriundo das áreas circunjacentes.

Nesse ponto, cabe destacar que as classes Altíssima e Alta cobrem, especificamente, os córregos Bicano (destaque para Avenida Doutor Gonçalves Avilmar de Oliveira), Mangues, Vargem Grande (destaque para Avenidas Manoel Caribe Filho e Professor Vicente Guimarães), Vieira (destaque para Avenidas José Corrêa Machado, Deputado Esteves Rodrigues e Sidney Chaves), Cintra, Melancias (destaque para Avenida Antônio Lafeté Rebelo) e Grotta do Sansão (bairro Village I). Além dos cursos da água, destacam, também, as galerias situadas nas Avenidas Deputado Esteves Rodrigues e Flamarion Wanderley (Bairro São José), bem como, as Lagoas da Pampulha (Bairro Interlagos) e do Parque Municipal Milton Prates. Essas áreas mencionadas merecem atenção especial por terem sido afetadas por evento de inundações de maneira recorrente, conforme notificações disponíveis pelo Sistema Integrado de Informações sobre Desastre (2006, 2009 e 2011).

Corroborando com o exposto, a figura 4 abaixo apresenta a sobreposição dos centróides dos 24 pontos de inundações mais críticos identificados pela Prefeitura Municipal de Montes Claros - PMMC, através do Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB (2015) sobre o mapeamento de susceptibilidade a inundações proposto pelo presente trabalho. Além disso, são apresentados, por meio da figura, alguns registros fotográficos (a direita) que ratificam a ocorrência de inundações anteriores. Dessa forma, levando em consideração o fato de que alguns centróides não estão diretamente associados a inundações graduais, mas à algamentos e com exceção do ponto 10 - bairro JK (que está situado na classe Média), todos as demais 23 demarcações apontadas pelo PMSB correspondem às áreas de altíssima e alta susceptibilidade a inundações, comprovando, portanto a eficácia da utilização das variáveis do mapeamento morfométrico no apontamento das áreas propensas as inundações.

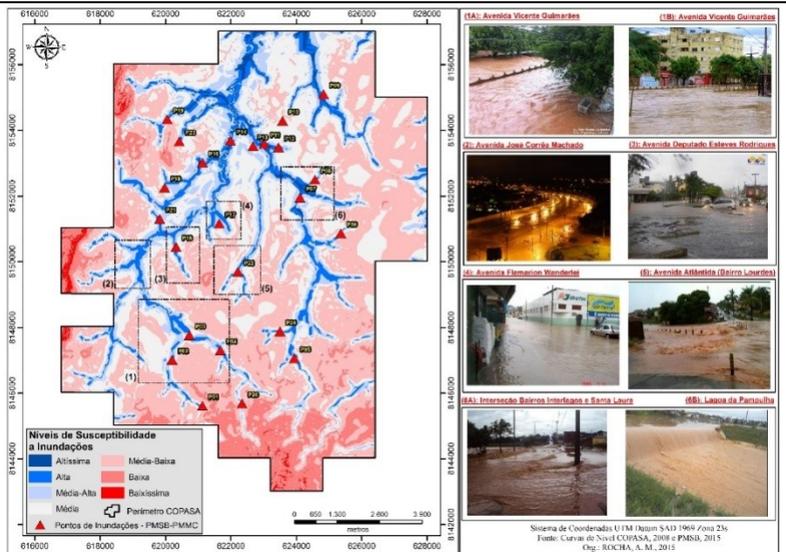


Figura 4: Sobreposição dos 24 pontos de Inundações do PMSB sobre o Mapeamento de Susceptibilidade a Inundações.

No que concerne as demais variáveis (média-alta a baixíssima), o mapeamento as identificou com reduzida possibilidade de ocorrência de inundações graduais, devido a considerável distância de tais áreas dos canais de acumulação. Devendo ser observado, no entanto, que devido a tendência de redução da inclinação da superfície da classe baixíssima a média-alta, isto é, existência de áreas mais planas e, conseqüentemente, favorecimento da estagnação do escoamento, a ocorrência de alagamentos torna-se possível caso a rede de drenagem não consiga captar todo o volume de água escoado nos leitos urbanos (ruas e avenidas).

Considerações finais

Ao fim, deve ser observado que o mapeamento efetuado foi motivado, principalmente, pela cidade de Montes Claros ter registrado recorrentemente casos de inundações, o que gerou vítimas e levou o poder público municipal decretar situação de emergência. No entanto, embora o modelo apresentado constitua-se como incipiente, devido se basear em variáveis morfométricas, a compatibilidade com os dados do PMSB e com os registros de áreas inundadas, conforme acervo fotográfico apontou, expõe a validade do mapeamento, uma vez que há conformidade com a ocorrência espacial das inundações anteriores.

Nesse sentido, interpretando o modelo com certo nível de validade, os resultados atingidos apontam, conforme apresentado antecipadamente, que somente as classes Altíssima e Alta representam áreas com reais possibilidades de ocorrência a inundações, e por isso, estão restritas a menos de 8% da área ocupada da cidade de Montes Claros.

Diante do exposto, tendo base os apontamentos da CEPED/UFSC (2011), levanta-se a hipótese que o alto número de afetados das últimas inundações pode estar associado a concentração de parte notável da população nas proximidades dos cursos d'água presentes na cidade em estudo.

Referências bibliográficas

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres Naturais. v. 1.** Brasília (DF): Ministério da Integração Nacional, 2003. Disponível em: <http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/livros/Defesa%20Civil_2003_Desastres_Naturais_vol_I.pdf>. Acesso em janeiro de 2013.

Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres/ Universidade Federal de Santa Catarina - CEPED/UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2010. Volume Minas**

LEITE, M.E. & ROCHA, A.M. Mapeamento da susceptibilidade à ...

Gerais. 2011. Disponível em:<<http://150.162.127.14:8080/atlas/Atlas%20Minas%20Gerais.pdf>>. Acesso em outubro de 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** In: CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. p. 65-101.

DAGNINO, R. S.; CARPI JÚNIOR, S. Risco Ambiental: conceitos e aplicações. **Revista Climatologia e Estudos da Paisagem.** v. 1. p. 50-87. 2007. Disponível em:<http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/Risco_Ambiental_Conceitos_e_Aplicacoes.pdf>. Acesso em janeiro de 2013.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

Foto Inundações número 1A e 1B. **Final de Semana chuvoso deixa Montes Claros em estado de calamidade.** Disponível em:<<http://albertobouchardet.blogspot.com.br/2013/01/final-de-semana-chuvoso-deixa-montes.html>>. Acesso em setembro de 2015.

Foto Inundações número 2. **Enchente deixa bairros de Montes Claros alagados e causa transtornos.** Disponível em:<<http://jjshow.com.br/index.php?lk=4&id=9898>>. Acesso em setembro de 2015.

Foto Inundações número 3. **Chuva forte causa estragos e derruba palco de Michel Teló e Claudia Leitte.** Disponível em:<<http://cabresto.blogspot.com.br/2012/04/chuva-forte-causa-estragos-e-derruba.html>>. Acesso em setembro de 2015.

Foto Inundações número 4. **Enchentes Bairro São José.** Disponível

LEITE, M.E. & ROCHA, A.M. Mapeamento da susceptibilidade à ...
em:<<http://montesclaros.com/mural/default.asp?top=40523>>.
Acesso em setembro de 2015.

Fotos Inundações números 5, 6A E 6B. **Fortes Chuvas e Alagamentos em Montes Claros – MG. Chuvas a níveis históricos, veja vídeos e fotos.** Disponível em:<<http://agnussanctus.blogspot.com.br/2013/01/fortes-chuvas-e-alagamentos-em-montes.html>>. Acesso em setembro de 2015.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2005. Disponível em:<http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf>. Acesso em janeiro de 2013.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico.** 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em agosto de 2013.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo - IPT; Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Carta de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: 1:25.000: Nota Explicativa.** 2014. Disponível em:<http://www.cprm.gov.br/susceptibilidade/Nota_Tecnica_Explicativa_Carta_Susceptibilidade.pdf>. Acesso em agosto de 2014.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. Extracting topographic structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Revista Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.** v. 54. n. 11. p. 1593-1600. 1988. Disponível em:<http://ml.archiveorange.com/m/att/H2CPn/ArchiveOrange_BqIHJa44tNzoGVG7sjCx1900baoa.pdf>. Acesso em dezembro de 2013.

LEITE, M.E. & ROCHA, A.M. Mapeamento da susceptibilidade à ...

MAGALHÃES, I. A. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. Uso das Geotecnologias para Mapeamento de Áreas de Risco de Inundações em Guaçuí, ES: Uma análise Comparativa entre dois Métodos. **Revista Cadernos de Geociências**. v. 8. n. 2. p. 63-70. 2011. Disponível em:<<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/view/5288/4036>>. Acesso em dezembro de 2013.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGÊNIO, F. C. **ArcGIS 9.3 Total: Aplicação para Dados Espaciais**. Alegres: CAUFES, 2010. Disponível em:<http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_ArcGIS%209.3_Aplicacoes_Para_Dados_Espaciais/Livro_ArcGIS93_Total.pdf>. Acesso em dezembro de 2013.

Serviço de Engenharia Consultiva – SERENCO. **Plano Municipal de Saneamento Básico referente à Prestação de Serviços de Abastecimento de Água Potável, de Esgotamento Sanitário, de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas e de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos de Montes Claros (MG)**. 2015. Disponível em:<http://www.montesclaros.mg.gov.br/agencia_noticias/2015/Plano%20Saneamento%20B%C3%A1sico/Relat%C3%B3rio%20de%20Mobiliza%C3%A7%C3%A3o%20Social_0315_R0.pdf>. Acesso em agosto de 2015.

Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID. **Relatórios de Inundações em Montes Claros período 2000 a 2011**. Disponível em:<<http://150.162.127.14:8080/bdrd/bdrd.html>>. Acesso em dezembro de 2013.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Informações Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário: Série Histórica**. Disponível em:<<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em 24 de setembro de 2015.

LEITE, M.E. & ROCHA, A.M. Mapeamento da susceptibilidade à ...

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Eos, Transactions American Geophysical Union**. v. 38. n. 6. p. 913-920. 1957. Disponível em: <<http://www.uvm.edu/~pdodds/teaching/courses/2009-08UVM-300/docs/others/1957/strahler1957a.pdf>>.

Acesso em dezembro de 2014.

The International Disaster Database/ Centre for Research on the Epidemiology of Disaster - EM-DATA/ CRED. **Natural Disasters in Brazil from 1900 to 2013**. Disponível em: <<http://www.emdat.be/search-details-disaster-list>>. Acesso em outubro de 2013.

TUCCI, C. E. M. Inundações e Drenagem Urbana. In: BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003. p. 46-141. Disponível em: <<http://www.eclac.cl/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/InBr02803.pdf>>. Acesso em janeiro de 2013.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata: Processamento dos dados SRTM**. INPE: São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19%4080/2010/05.10.18.42/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em janeiro de 2013.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2007.

Recebido em outubro de 2015

Aceito em fevereiro de 2016