



**Processo Hierárquico Analítico (AHP) em Modelagem
Espacial da Vulnerabilidade à Inundação em Ambientes Mistos**
Hierarchical Analytical Process (AHP) in Spatial
Modeling of Flood Vulnerability in Mixed Environments

Nivea Morena Gonçalves Miranda¹; Jakcemara Caprario¹;
Luiz Carlos Pittol Martini² & Alexandra Rodrigues Finotti¹

¹UFSC–Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental,
Rua Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreiras/n, 88040-900, Florianópolis, Santa Catarina, SC, Brasil

²UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Rural,
Rod. Admar Gonzaga 1346, 88034-000, Florianópolis, Santa Catarina, SC, Brasil

E-mails: niveaufmt@gmail.com; jakcemara@hotmail.com; luiz.martini@ufsc.br; alexandra.finotti@ufsc.br

Recebido em: 14/04/2019 Aprovado em: 17/06/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_172_181

Resumo

O objetivo deste estudo foi construir um banco de dados e apresentar a distribuição espacial dos principais fatores de influência, e dos locais com maior suscetibilidade à inundação, em uma bacia hidrográfica mista de Cuiabá – MT. Para atingir este objetivo, foram utilizados os seguintes passos metodológicos: (1) obtenção e preparação de dados; (2) aplicação do método AHP; e (3) sobreposição de fatores de influência. Os resultados mostraram que 29% da bacia do Ribeirão do Lipa apresenta grau de suscetibilidade a inundação elevado, observado principalmente em áreas onde o avanço da urbanização é destacado. Apesar da extensa área vegetada na bacia (67%), a vulnerabilidade das características do relevo requer intervenções imediatas nos projetos de gestão e planejamento urbano, visando a redução de eventos de inundações e o desenvolvimento regional sustentável.

Palavras-chave: Inundação; AHP; SIG

Abstract

The mean of this study was to construct a database and to present the spatial distribution of the main influence factors, and of the sites with greater susceptibility to flooding, in a miscellaneous basin of Cuiabá - MT. To achieve this objective, the following methodological steps were used: (1) data collection and preparation; (2) application of the AHP; and (3) overlapping of influence factors. The results showed that 29% of the Lipa river basin presents a degree of susceptibility to high flooding, observed mainly in areas where the urbanization advance is highlighted. Despite the extensive vegetation area in the basin (67%), the vulnerability of relief features requires immediate intervention in urban management and planning projects, aimed at reducing flooding events and sustainable regional development.

Keywords: Flooding; AHP; SIG



1 Introdução

Embora o Brasil seja reconhecido como um país vasto em recursos hídricos, apenas 513 municípios (9,21%) possuem um Plano Diretor de Gerenciamento de Águas Pluviais, cenário devido principalmente a inexistência de regulamentação das águas pluviais (SNIS, 2018). A falta de planejamento e investimento no setor da drenagem urbana afeta uma grande parte dos municípios brasileiros (Garcia & Paiva, 2006). Como a gestão do saneamento está em fase de tratamento de esgoto, a questão das águas pluviais ainda é considerada de baixa prioridade, mesmo com o aumento da ocorrência das inundações urbanas (Tasca *et al.*, 2017). O planejamento e gestão urbana são realizados de forma totalmente setorial, não considerando a integração entre os componentes da água, o meio urbano e o controle das inundações, causando transtornos e prejuízos para a sociedade e o meio ambiente.

Desta forma, o uso de medidas mitigadoras visando erradicar ou minimizar os possíveis danos causados pelas inundações, é de extrema necessidade. Dentre as medidas existentes, o mapeamento das áreas suscetíveis a desastres vem ganhando destaque. Inicialmente, o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação baseava-se na utilização de dados hidrológicos climáticos e topográficos, como por exemplo, a precipitação, escoamento superficial, altimetria, declividade, geologia, uso/ocupação da terra, tipo de solo e índice de umidade (Sen, 2004; Nouh, 2006; Tehrany *et al.*, 2013; Kazakis *et al.*, 2015; Teerã *et al.*, 2015). Porém o processo de tomada de decisão em ambientes complexos é dificultado, devido envolver dados de múltiplos critérios e inúmeros agentes de influência.

Uma forma de amenizar a complexidade do processo de decisão é o uso de ferramentas que decompõem hierarquicamente o problema, elencando a prioridade dos agentes. Atualmente, a combinação do método AHP (Analytic Hierarchy Process) com a modelagem espacial em ambiente SIG (Sistemas de informações geográficas), tem sido vastamente utilizada (Elkhrachy, 2015; Gangadharan *et al.*, 2016; Ekrami *et al.*, 2016).

Ao combinar os métodos AHP e SIG, uma solução alternativa é fornecida para amenizar a complexidade das análises, demonstrando eficiência

no desenvolvimento de mapas de susceptibilidade a inundações (Gangadharan *et al.*, 2016). Para que essa ferramenta possa ser aplicada pelos tomadores de decisão, é necessário levantar e preparar um banco de dados espaciais dos principais fatores que influenciam a suscetibilidade à inundação. Esse agrupamento de informações pode ser útil e levar a algumas mudanças na gestão urbana, integrando a urbanização e a preservação do meio ambiente. Neste contexto, o objetivo principal deste estudo foi construir um banco de dados e apresentar a distribuição espacial dos principais fatores de influência, e dos locais com maior suscetibilidade à inundação, em uma bacia hidrográfica mista de Cuiabá - MT, utilizando a combinação dos métodos AHP e SIG.

2 Materiais e Métodos

O mapa da distribuição espacial da suscetibilidade à inundação foi preparado utilizando a combinação dos métodos AHP e SIG, de acordo com as seguintes etapas: a) obtenção e preparação dos dados; b) Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP); c) Sobreposição dos 4 fatores. Os mapas finais foram gerados em escala 1:70.000.

Na primeira etapa, os dados referentes aos quatro fatores que aumentam a suscetibilidade à inundação foram obtidos e preparados para a inserção no Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os dados foram obtidos estão listados no Quadro 1.

Dados	Fonte	Data	Fatores Produzidos	Ferramenta	Escala
Fotografia aérea	SEMA ^a	2008	Uso e conservação da terra	Multivariate – Maximum Likelihood Classification	2,5 metros
Curvas topográficas	INPE ^b	2008	Altimetria	3D Analyst	1:250.000
Curvas topográficas	INPE ^b	2008	Declividade	Fill + slope	1:250.000
Mapa de solos	CPRM ^c	2011	Tipo de Solo	-	1:1.000.000

Quadro 1 Relação dos dados obtidos para cruzamento dos mapas.

^a SEMA – Secretaria de Meio Ambiente

^b INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

^c CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Apesar da escala do mapa de solos não ser ideal para escalas de pequenas bacias, utilizou-se a escala descrita no Quadro 1 devido a inexistência do mapeamento de maior resolução na área de estudo. No entanto, são encontrados alguns trabalhos na literatura que obtiveram sucesso no cruzamento de mapas com escalas de baixa resolução (Nunes & Leite, 2017) ou realizaram a sobreposição de mapas com alta e baixa resolução (Costa et al., 2008; Camargo et al., 2019).

Ainda nessa etapa, os fatores foram subdivididos em classes, as quais foram atribuídas notas variando entre 1 a 10. As notas foram atribuídas de acordo com o grau de importância na suscetibilidade à inundação referente a bacia hidrográfica em estudo, onde, classes com menor influência na suscetibilidade receberam notas baixas e assim por diante, semelhante ao estudo de Caprario et al. (2019). A segunda etapa consistiu na decomposição do problema em níveis hierárquicos, conforme proposto por Saaty (1977). Após determinar os pesos estatísticos (w_i) dos fatores de influência, um modelo matemático que descreve a suscetibilidade a inundação na área em estudo foi construído.

Ainda nessa etapa, os fatores foram dispostos hierarquicamente em uma matriz de comparação, onde foi julgado o grau de importância entre os fatores por comparação par a par. A escala experimental pré-definida por Saaty (1977) foi utilizada para julgar a importância entre os fatores. A normalização da matriz de comparação dos fatores foi realizada, obtendo o autovetor dos pesos (w_i) e o autovalor máximo (λ_{max}) correspondente. A veracidade dos pesos estatísticos obtidos foi avaliada por meio do cálculo da razão de consistências (RC). Um valor inferior a 0,1 é esperado, representando no mínimo 90% de veracidade nos julgamentos dos fatores.

Confirmada a veracidade dos pesos estatísticos, um modelo matemático que descreve a suscetibilidade

à ocorrência de inundações na área em estudo foi construído. O modelo foi construído com base no modelo genérico introduzido pela Equação 1.

$$S = P_1 \text{ Geologia} + P_2 \text{ Usos da terra} + P_3 \text{ Declividade} + P_4 \text{ Altimetria} \quad (1)$$

Onde:

S = Suscetibilidade;

$P_1, P_2, P_3,$ e P_4 = pesos estatísticos determinados para os fatores.

Na última etapa, os fatores de influência espacializados foram sobrepostos de acordo com o modelo matemático construído pelo método AHP. A sobreposição dos fatores de influência foi realizada utilizando o software ArcGIS® 10.1. Após a sobreposição dos parâmetros de influência, os resultados foram classificados em cinco faixas de suscetibilidade à inundação: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, conforme o proposto por Ouma & Tateish (2014). O método de classificação utilizado foi o Natural Breaks Jenks, pois garantiu a melhor distribuição dos resultados.

O fluxograma da Figura 1 exhibe os procedimentos metodológicos do trabalho.

3 Área de Estudo

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do Ribeirão do Lipa, localizada em Cuiabá - capital do Estado de Mato Grosso (Figura 2). A Bacia do Ribeirão do Lipa enfrenta muitos problemas na gestão das águas pluviais e tem sido objeto de conflitos relacionados à urbanização e preservação do meio ambiente, pois a bacia engloba áreas rurais e urbanas (ambiente misto). Com uma área de aproximadamente 65 km², a bacia do Ribeirão do Lipa abrange parte significativa da área urbana de Cuiabá, sendo caracterizada por expressiva cobertura vegetal.

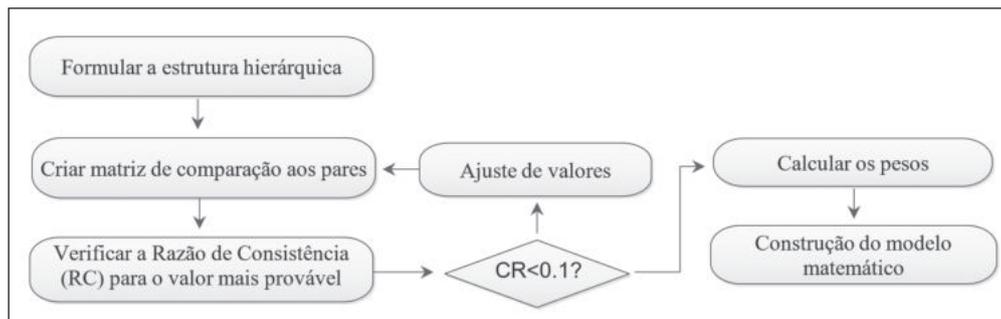


Figura 1 Fluxograma da metodologia aplicada (Segundo Caprario et al., 2019).

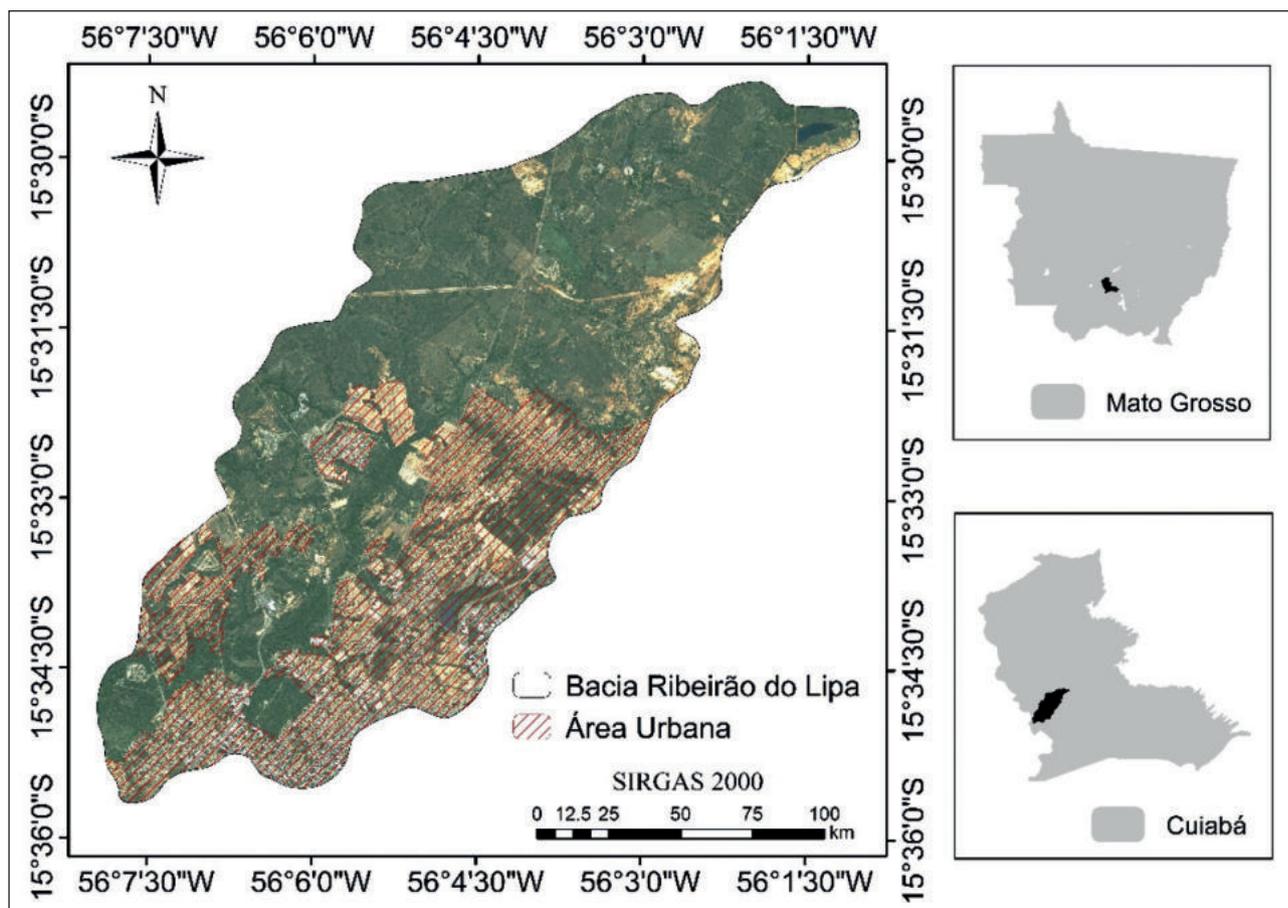


Figura 2 Localização da bacia do Ribeirão do Lipa.

4 Resultados e Discussões

4.1 Fatores de Influência

Encontram-se estudos na Literatura que utilizaram diversos dados hidrológicos e climáticos que contribuem para inundações (Ouma & Tateishi, 2014). Contudo, devido à falta de dados, apenas um número limitado de pesquisas utiliza um conjunto de dados abrangentes no delineamento de áreas suscetíveis a inundações de bacias hidrográficas. Tendo em vista este contexto e a disponibilidade de dados da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lipa, os fatores de influência adotados nesta pesquisa foram: declividade, altimetria, geologia e uso e conservação das terras (Figura 3).

4.2 Obtenção e espacialização das classes

4.2.1 Declividade

Geralmente, existe relação inversa entre a inclinação da superfície da terra e a infiltração, onde

o aumento na inclinação diminuiria a infiltração e vice-versa (Nassif & Wilson, 1975). Neste estudo, o fator declividade (Figura 3A) foi classificado de acordo com a Embrapa (2006) em: plano (0-3%), suavemente ondulado (3-8%), ondulado (8-20%) e fortemente ondulado (20-45%). De acordo com a Figura 3A.

4.2.2 Uso e Conservação de Terras

O uso e conservação das terras foi classificado a partir de três cenas do Satélite SPOT 5 por meio do método de classificação supervisionada. As imagens provenientes do último levantamento aéreo do município foram obtidas no ano de 2008. Realizado em período chuvoso, pois a vegetação da bacia é fortemente influenciada pelo período seco. De acordo com IPDU (2007) o município de Cuiabá encontra-se numa região fitofisionômica caracterís-

tica do cerrado, considerando como vegetação nativa, as duas classes principais: o cerrado (árvores que atingem cerca de oito metros de altura e copas entrelaçadas) e o cerradão (vegetação rasteira; menos densa que o cerrado). Diante disso, o fator uso e ocupação das terras foi dividido em seis classes: cerrado, cerradão, solo exposto, pavimentação, edificações e corpos hídricos.

Por seguinte, as classes pertencentes ao fator uso e conservação das terras foram reclassificadas, as notas adotadas dizem a respeito ao grau de impermeabilização do solo, bem como a sua capacidade de infiltração. Desta forma, áreas cobertas por cerrado e cerradão (maior densidade vegetal) obtiveram notas mais baixas, pois a vegetação densa intercepta a precipitação e diminui o escoamento superficial. No entanto, para as áreas cobertas por corpo hídrico, foi adotado um grau máximo de suscetibilidade, uma vez que estas são áreas naturalmente inundáveis e as áreas urbanizadas (pavimento, edificações e corpo hídrico) receberam notas altas, devido à maior impermeabilização do solo e, conseqüentemente, à maior suscetibilidade à inundação.

A partir do mapeamento do uso e conservação das terras (Figura 3B) pode-se perceber que a bacia hidrográfica do Ribeirão do Lipa integra o perímetro urbano dentro de extensas áreas vegetadas. Estas totalizam-se em 44 km², equivalente a 67% da área total da bacia em 2008. Embora estes dados pareçam otimistas, o estudo realizado por de Dias (2010) mostra que em 1986 a parcela urbanizada que ocupavam o lado esquerdo da bacia, próximo ao centro de Cuiabá, avançou de forma desordenada em 2010 para a região central e Sul.

4.2.3 Altimetria

O estudo de altimetria é relevante na análise das formas de relevo, indicando condições mais propícias a escoamento das águas nas áreas de maior altitude e de acumulação hídrica para as áreas de menor altitude. Portanto, aqui o fator altimetria apresentou valores entre 151 e 267 metros (m) e foi reclassificada de acordo com o método natural breaks, em quatro faixas de elevação, sendo elas: 151-186, 186-206, 206-226/226-267 metros. Conforme mostra a Figura 3C.

4.2.4 Geologia

De acordo com IPDU (2007), a cidade de Cuiabá encontra-se em uma região de rochas metamórficas de baixo grau, datadas do pré-cambriano, onde predominam filitos e micaxistos. Subordinadamente, aparecem quartzitos, metagrauvascas, calcários, metaglomerados, além de veios de quartzo auríferos. Este conjunto de rochas designa-se: Grupo Cuiabá. CPRM (2004) define as formações geológicas da bacia do Ribeirão do Lipa (Figura 3D) como:

- Grupo Cuiabá – subunidade 6: filitosconglomeráticos com matriz areno-argilosa contendo clastos de quartzo, filito e quartzitos, com intercalações subordinadas de metarenitos;
- Grupo Cuiabá – subunidade 5: filitos e filitossericíticos, cinza prateados a esverdeados, com intercalações e lentes de metaconglomerados, (Mcg) metarenitos (Mar) e metarcóseos (Mac). São frequentes veios de quartzo paralelos e oblíquos a foliação;
- Depósitos Aluvionares: aluviões recentes; sedimentos arenosos, argilo-arenosos e conglomeráticos inconsolidados, depositados ao longo dos canais ativos das drenagens.

Dessa forma, as notas das classes de geologia da bacia do Ribeirão do Lipa foram altas, pois os tipos litológicos da bacia apresentam baixa permeabilidade.

4.3 Ponderação das Classes dos Fatores

O processo de ponderação das classes foi realizado por meio de reclassificação, onde cada classe de fator recebeu uma nota variando de 0 a 10, de acordo com o grau de suscetibilidade à inundação. A Tabela 1 apresenta as classes de cada fator de influência, bem como as respectivas notas atribuídas.

4.4 Aplicação do Método AHP

Os resultados da comparação por pares e o julgamento do grau de importância com a escala predefinida por Saaty estão dispostos na Tabela 2, abaixo:

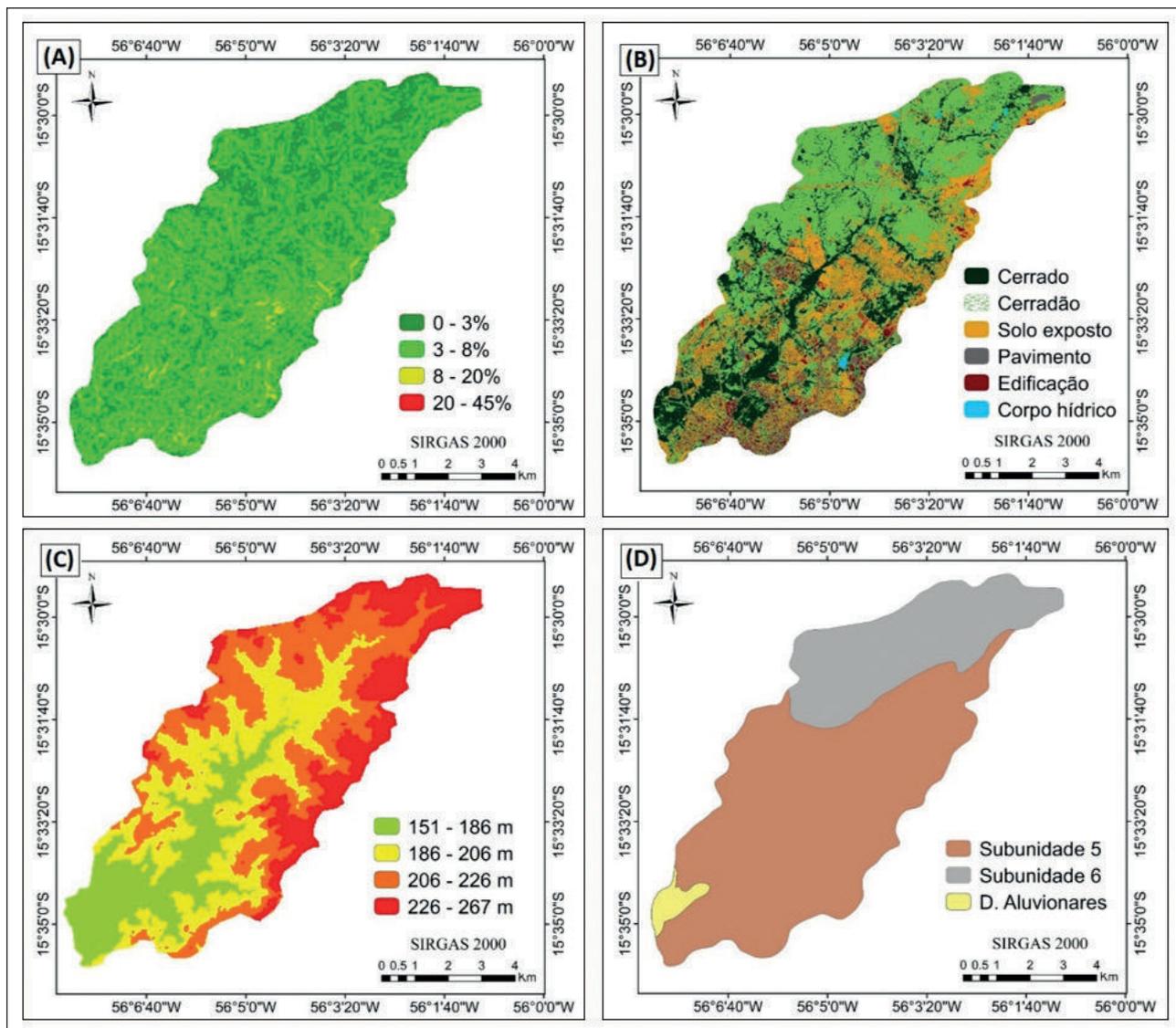


Figura 3 Fatores de influência; (A) declividade; (B) Uso e conservação de terras; (C) Altimetria; (D) Solos.

FATOR	CLASSES	NOTAS
Declividade	0-3 %	8
	3 -8%	5
	8-20%	2
	20-45%	1
Geologia	Subunidade 5	5
	Subunidade 6	6
	Depósitos Aluvial	7
Altimetria (metros)	151-180	8
	180-210	2
	210-230	1
	230-254	0
Usos da terra	Cerradão	1
	Cerrado	3
	Solo exposto	8
	Pavimento	9
	Edificações	9
	Corpo hídrico	10

Tabela 1 Atribuição de notas as classes dos fatores de influência.

Fatores	Geologia	Uso das Terras	Declividade	Altimetria
Geologia	1	1/3	1/5	1/7
Uso das terras	3	1	1/5	1/5
Declividade	3	5	1	1/3
Altimetria	7	5	3	1
Somatória	14,00	11,33	4,40	1,68

Tabela 2 Matriz de comparação pareada utilizada no estudo.

Pela normalização da matriz de comparação foi obtido o autovetor dos pesos estatísticos (w_i), utilizado para construir o modelo matemático de mapeamento de suscetibilidade à inundação. A normalização da matriz de comparação e o vetor peso obtido são apresentados na Tabela 3.

Fatores	Geologia	Uso das Terras	Declividade	Altimetria	Peso (wi)
Geologia	0,0714	0,0294	0,0455	0,0852	0,0579
Uso do solo	0,2143	0,0882	0,0455	0,1193	0,1168
Declividade	0,2143	0,4412	0,2273	0,1989	0,2704
Altimetria	0,5000	0,4412	0,6818	0,5966	0,5549

Tabela 3 Normalização da matriz de comparação.

A conformidade dos julgamentos realizados durante a comparação dos fatores foi avaliada, sendo obtido um índice de razão de consistência igual a 0,05. Esse resultado indica a veracidade dos julgamentos garantindo no mínimo 50% de acerto dos resultados.

4.5 Mapa Final de Suscetibilidade à Inundação

O mapa final de suscetibilidade à inundação gerado a partir da sobreposição dos mapas de altimetria, declividade, uso e conservação das terras e

geologia para bacia do Ribeirão do Lipa é apresentado na Figura 4.

Pelos resultados é possível observar que as áreas pertencentes às classes de suscetibilidade muito baixa e baixa coincidem em grande parte com as áreas verdes, onde ocorre a combinação de altas altitudes e baixas declividades. Essas classes abrangem 46 km², 71% da área total da bacia, predominando em sua maioria à parte norte da bacia onde estão localizados o antigo garimpo de extração de ouro e o aterro sanitário de Cuiabá.

Já as áreas de classe muito alta, alta e média suscetibilidade, resultaram em 3, 5 e 11 km² respectivamente, correspondendo a 29% da área total da bacia do Ribeirão do Lipa. Estas classes estão localizadas principalmente na região central e sul da bacia, onde o avanço da urbanização é destacado. Nestas áreas ainda ocorre a combinação de baixas altitudes e declividades, tendo a presença de corpos

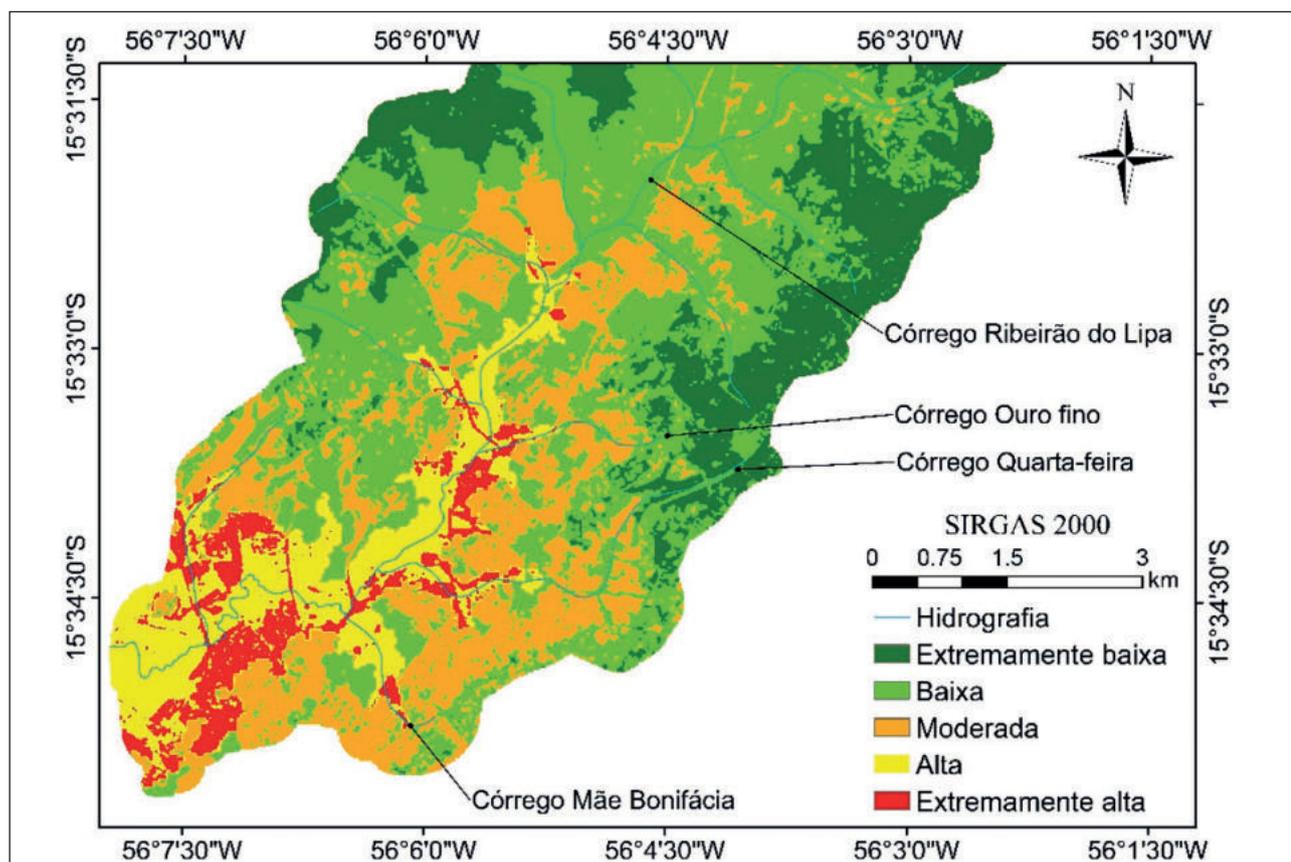


Figura 4 Suscetibilidade à inundação da Bacia do Ribeirão do Lipa.

hídricos. Resultados semelhantes a estes foram encontrados nos estudos realizados por Goldoni & Vestena (2016), Gomes *et al.* (2014), Fernandes (2016), Manfredini *et al.* (2011) e Tomazzoli *et al.* (2009).

Os principais afluentes da bacia do Ribeirão do Lipa correspondem ao córrego Quarta-feira, Córrego Ouro Fino e Córrego Mãe Bonifácia. Esses córregos estão compreendidos em regiões que apresentaram suscetibilidade à inundação muito alta, o que pode ser justificado pela presença de áreas altamente impermeabilizadas. Salomão (2009) cita em seu estudo que a área próxima a nascente do córrego Quarta-feira já foi ocupada por garimpeiros, contribuindo com o processo de impermeabilização e retirada de solo para aterro e reaterro. Essas atividades impactaram na remoção do horizonte A, diminuindo a permeabilidade do solo. Ressalta-se ainda que a microbacia do córrego quarta-feira possui 69% da área total urbanizada, contribuindo, apesar das altitudes mais elevadas, com grande parte das áreas de média suscetibilidade da bacia.

A região do córrego Mãe Bonifácia possui influência da densa vegetação do Parque Mãe Bonifácia, o que maximiza as áreas permeáveis diminuindo o risco à inundação. No entanto, a implantação de medidas não estruturais nessa região ainda é necessária, visto que o crescente processo de loteamento da região ocorre em áreas de inundação do córrego, levado a prefeitura adotar obras de canalização. As principais vias de circulação presentes na bacia do Ribeirão do Lipa (Figura 5) apresentaram áreas com suscetibilidade muito alta à inundação. A elevada suscetibilidade dessas áreas está relacionada com as baixas altitudes, proximidade dos corpos hídricos e predomínio de áreas urbanizadas em seu entorno ou à montante.

A Rodovia Emanuel Pinheiro merece destaque, pois mesmo localizada em sua maior parte fora do perímetro urbano, possui predominância de áreas com suscetibilidade média à inundação. A ocorrência de inundação nesta

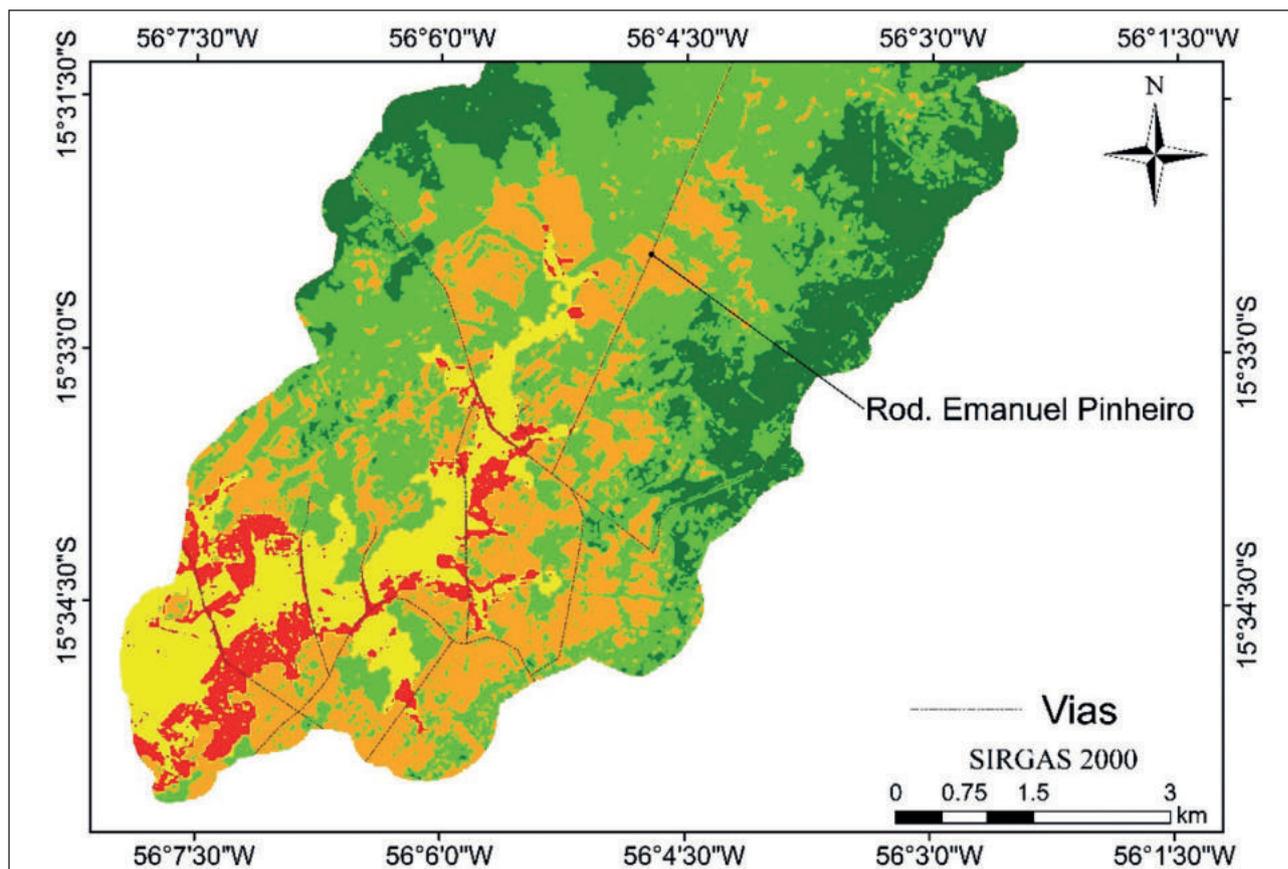


Figura 5 Localização das principais vias da bacia do Ribeirão do Lipa.

via causa transtornos ao tráfego, dificultando a mobilidade da população entre os municípios de Cuiabá e Chapada dos Guimarães.

Destaca-se que a região sudoeste da bacia, próxima a foz do córrego Ribeirão do Lipa, apresentou suscetibilidade muito alta à inundação, fato este também confirmado por Dias (2010). As baixas altitudes e declividades, aliados a falta de pavimentação das vias e as chuvas de alta intensidade, características da cidade de Cuiabá, contribuem com a ocorrência de inundações na região. O processo de erosão e transporte de sedimentos é constantemente percebido no local, favorecendo o transborde do córrego do Ribeirão Lipa e aumento do tempo de permanência deste.

Ademais, sabe-se que além da impermeabilização dentro da bacia, existe ainda outro agravante para a ocorrência de inundações: o baixo grau de permeabilidade dos tipos de solo da região. Solos litológicos das subunidades do grupo Cuiabá e depósitos aluvionares, ao serem modificados pelas ações antrópicas reduzem expressivamente a permeabilidade, favorecendo o escoamento superficial. Destaca-se que estes tipos de solo aparecem expostos em aproximadamente 20% da área da bacia, recobrimo um total de 14 km². Desta forma, a geologia da área de inundação do córrego não deve sofrer interferências antrópicas, visando manter uma boa permeabilidade reduzindo a suscetibilidade à inundação.

5 Conclusão

Além da integração espacial dos principais fatores ambientais e do uso do SIG como ferramenta complementar para o planejamento urbano, apresentamos neste trabalho uma abordagem empírica utilizada para o mapeamento da suscetibilidade às inundações em áreas urbanas, integrando os métodos AHP e GIS.

O uso da técnica de sobreposição mostrou-se como uma ferramenta muito importante no diagnóstico, planejamento e gestão urbana, auxiliando os

decisores e formuladores de políticas na rápida previsão e possível prevenção das inundações no perímetro urbano. No entanto, a falta de pessoal técnico especializado para gerar e manipular os dados é um dos pontos impeditivos para o uso disseminado da metodologia apresentada. Uma das dificuldades enfrentadas durante a realização deste estudo foi a obtenção de dados fornecidos pelas secretarias de gestão do município de Cuiabá. O último levantamento aéreo do município, com resolução compatível para o estudo foi realizado em 2008.

O levantamento topográfico do município estava incompleto e o estudo geológico do município em escala adequada não foi realizado, sendo necessário utilizar dados do banco nacional. Embora estes dados possuam baixa resolução espacial e temporal, não houve interferência nas informações de base utilizadas neste estudo. Contudo, ressalta-se a necessidade da atualização dos dados para pesquisas futuras.

A integração AHP-SIG demonstrou ser uma abordagem viável e rápida para o mapeamento de áreas suscetíveis a ocorrência de inundações, podendo ser facilmente reaplicado em grandes bacias ou municípios. A abordagem é simples e relativamente fácil de aplicar, requerendo apenas uma boa base de dados. O AHP pode ser facilmente adaptado de acordo com as peculiaridades de cada área. Dessa forma, poderá ser aplicado em bacias vizinhas. As notas atribuídas no julgamento do grau de importância dos fatores são facilmente encontradas na literatura, podendo ser modificados a qualquer momento. A suscetibilidade a ocorrência de inundações pode ser monitorada ao longo do tempo como um importante indicador ambiental, tornando-se uma referência para o desenvolvimento urbano.

6 Referências

- Camargo, L.S.; Silva, R.W.; Amaral, S. S.; Silva, A.P.; Ferreri, T.; Silva, M.P.D. Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Incêndios Florestais do Município de Petrópolis – RJ. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 42(1): 630-641.
- Caprario, J.; Rech, A.S.; Tasca, F.A. & Finotti, A.R. (2019). Influence of drainage network and compensatory techniques on urban flooding susceptibility. *Water Science and Technology*, 113: 1-12.

- Costa, A.N.; Polivanov, H. & Alves, M. G. 2008. Mapeamento Geológico-Geotécnico Preliminar, Utilizando Geoprocessamento, no Município de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 31(1): 50-64.
- Dias, F.A. 2010. *Caracterização e análise da qualidade ambiental urbana da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lipa, Cuiabá/MT*. Programa de Pós-Graduação em Eng. de Edificações e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Dissertação de Mestrado, 132p.
- Ekrami, M.; Ahmad, F.M.; Jalal, B. & Kazem, D. 2016. Drought vulnerability mapping using AHP method in arid and semiarid areas: a case study for Taft Township, Yazd Province, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(12):1-13.
- Elkhrachy, I. 2015. Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA). *The Egyptian Journal of Remote Sensing And Space Science*, 18(2): 261-278.
- EMBRAPA. 1979. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, Rio de Janeiro, 1979. Súmula, Rio de Janeiro, p. 1-83.
- Fernandes, N.S. *Mapeamento das áreas suscetíveis à inundação em Santa Maria, RS*. 2016. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de mestrado, 102p.
- Gangadharan, R.; Nila, R.P. & Vinoth, S. 2016. Assessment of groundwater vulnerability mapping using AHP method in coastal watershed of shrimp farming area. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2): 1-14.
- Garcia, J.I.B. & Paiva, E.M.C.D. 2006. Análise das áreas de risco de inundações para cenários futuros em uma bacia urbana. *Recursos Hídricos: Jovem Pesquisador 2005*, 1(1): 197-217.
- Goerl, R.F. & Kobiyama, M. 2005. Considerações sobre as Inundações no Brasil. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005. Anais, Porto Alegre, ABRH, p. 1-14.
- Goldoni, T.R. & Vestena, L.R. 2016. Mapeamento das áreas de risco à inundação na cidade de Guarapuava – PR. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS - A CONSTRUÇÃO DO BRASIL: GEOGRAFIA, AÇÃO POLÍTICA E DEMOCRACIA, 18, São Luís, 2016. Resumos expandidos, São Luís, p. 14-30.
- Gomes, M.A.; Santana, F.C.; Ribeiro, W.G.R. & Paulino, G.M. 2014. Mapeamento das áreas de risco de inundação no município de João Monlevade – MG, com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5, Belo Horizonte, 2014. Resumos expandidos, Belo Horizonte, p. 1-8.
- INPE. 2008. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 25 Set. 2016.
- IPDU. 2007. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. *Diretoria de Pesquisa e Informação Perfil Socioeconômico de Cuiabá*. Central de Texto, p. 285-296.
- Kazakis, N.; Kougiyas, I. & Patsialis, T. 2015. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and analytical hierarchy process: application in Rhodope-Evros region, Greece. *Sci. Total Environ*, 538: 555-563.
- Manfredini, L.; Santos, E.L.S.S.; Santo, M.V.; Grais, A.S.; Pretz, C.B. & Lahm, R.A. 2011. Aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para o mapeamento das áreas de inundação na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PUCRS, 12, Rio Grande do Sul, 2011. Resumos expandidos, Rio Grande do Sul, p. 1-3.
- Nassif, S.H. & Wilson, E.M. 1975. The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration. *Hydrol Sci Bull*, 20: 539-553.
- Nicolodi, J.L. & Petermann, R.M. 2010. Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da zona costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 10(2): 151-177.
- Nouh, M.A. 2006. Wadiflow in the Arabian Gulf states. *Hydrol. Process*, 20: 2393-2413.
- Nunes, A.B. & Leite, E.F. Geoprocessamento Aplicado ao Estudo de Caracterização Física E Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Areias, no Estado do Tocantins, Brasil. *Espaço em revista*, 19(2): 104-127.
- Ouma, Y.O. & Tateishi, R. 2014. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated Multi-Parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Rev. Water*, 6: 1515-1545.
- Pinheiro, A.; Graciano, R.L.G. & Severo, D.L. 2013. Tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(3): 281-290.
- Ramos, A.M. 2010. *Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade*. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado, 179p.
- Saaty, T.L. & Saaty, R.W. A scalin Method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15: 234-281.
- Salomão, F.X.T.; Crove, B. & Castro, J.R.P.R. Delimitação Cartográfica das Áreas de Preservação Permanente (APP's) de nascentes e cursos d'água na área urbana de Cuiabá. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 1, São Paulo, 2009. Resumos expandidos, São Paulo, p. 1-20.
- Şen, Z. 2004. Hydrograph Methods for Use in Arid Regions. Saudi Geological Survey (SGS). In: Kingdom of Saudi Arabia: Saudi Geological Survey Technical Report SGS-TR-2004-5, Arábia Saudita, p. 1-20. (Technical Report).
- SNIS. 2018. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico do serviço de águas pluviais. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-aguas-pluviais/148-diagnostico-do-servico-de-aguas-pluviais-2015>>. Acesso em: 16 Ago. 2018.
- Tasca, F.A.; Assunção, L.B. & Finotti, A.R. 2018. International experiences in stormwater fee. *Water Science and Technology*, 1: 287-299.
- Tehrany, M.S.; Pradhan, B.; Mansor, S. & Ahmad, N. 2015. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125: 91-101.
- Tomazzoli, E.R.; Parizoto, D.G.V. & Pellerin, J.R.G.M. 2009. Análise e mapeamento das áreas de risco a movimentos de massa e inundações nos municípios de Gaspar, Ilhota e Luiz Alves (Complexo do Morro do Baú), SC. Disponível em: <http://lablam.ufsc.br/files/2014/01/Relat%C3%B3rio_Proj_Morro-Ba%C3%BA.pdf>. Acesso em: 13 out. 2016.
- Yannopoulos, S.I.; Grivaki, G.; Giannopoulou, I.; Basbas, S. & Oikonomou, E.K. 2013. Environmental impacts and best management of urban stormwater runoff: measures and legislative framework. *Global NEST Journal*, 15(3): 324-332.
- Zamparoni, C.A.G.P. 2012. Riscos e Desastres Naturais em Ambiente Urbano: O Exemplo de Cuiabá/MT. *Revista Brasileira de Climatologia*, 10: 7-20.