

ANÁLISE ESPACIAL DA VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE CAMPINAS, SP, BRASIL

Spatial Analysis of Socio-Environmental Vulnerability in Campinas, SP, Brazil

**Mara Lúcia Marques¹, Maurício Corégio da Silva¹
& Danilo Mangaba de Camargo²**

¹Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUC-Campinas

Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia - CEATEC

Rodovia Dom Pedro I, Km 136, s/n - Parque das Universidades CEP: 13086-900, Campinas – SP, Brasil
mara.marques@puc-campinas.edu.br; mauriciocoregio@gmail.com

**²Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP
Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente – IGCE/Rio Claro**

**Avenida 24 A, nº 1515. CEP: 13506-900. Rio Claro – SP, Brasil
danilo.mangaba@gmail.com**

Recebido em 20 de Outubro, 2017/ Aceito em 10 de Dezembro, 2017

Received on October 20, 2017/ Accepted on December 10, 2017

RESUMO

A análise espacial permite a compreensão de fenômenos antrópicos e ambientais, a partir da mensuração de indicadores socioambientais e da identificação de padrões e relacionamentos espaciais. O potencial de risco a inundação, em áreas com elevada densidade populacional, pode estar associado aos aspectos físicos e ao tipo de uso e ocupação da terra, permitindo analisar a suscetibilidade ao evento. O objetivo dessa investigação consistiu na aplicação da análise espacial para o estudo da vulnerabilidade socioambiental do município de Campinas. Inicialmente, gerou-se o Índice de Vulnerabilidade Social (IV_{social}) pela integração dos indicadores socioeconômicos. Em seguida, aplicou-se o método multicritério pela análise AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para a obtenção do mapa de risco potencial de inundação. A partir desses mapas resultantes, IV_{social} e o de Risco potencial de Inundação, empregou-se novamente o método multicritério para gerar o Índice de Vulnerabilidade Socioambiental ($IV_{socioambiental}$). Os resultados indicaram que há predominância das classes com Alta e Média Alta de IV_{social} nas áreas sul, oeste e noroeste do município de Campinas. Isso pode ser explicado pelo deslocamento e aumento populacional, devido à urbanização iniciada com o desenvolvimento industrial no final da década de 1920. As áreas com alto potencial de risco de inundação situam-se nos trechos de menor declividade e suas planícies fluviais. O $IV_{socioambiental}$ apresentou variação entre as classes Média Baixa à Alta. Ressalta-se que, aproximadamente, 656 mil pessoas (60% da população total do município) residem em áreas de Alta e Média Alta vulnerabilidade, entre os quais 64,31% possuem renda média entre um e dois salários mínimos. Estas áreas com $IV_{socioambiental}$ Alto e Médio Alto por estarem distribuídas com maior frequência na região sul e trechos da região oeste e norte, devido aos elevados índices de IV_{social} e por localizarem-se nas planícies com potencial de inundação dos Rios Quilombo e Atibaia. As áreas com $IV_{socioambiental}$ Médio Baixo ocorrem na região nordeste do município, onde está situada na Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal de Campinas que envolve os distritos de Sousas e Joaquim Egídio. Os resultados confirmam, neste caso, com a premissa de que os índices elevados de vulnerabilidade socioambiental ocorrem nas áreas com maior densidade populacional e com baixo padrão socioeconômico.

Palavras-chave: Análise Multicritério, Análise de Vulnerabilidade, Risco, Inundações.

ABSTRACT

The spatial analysis assures the understanding of anthropic and environmental phenomena considering the influence of social and environmental information, as well as by detecting patterns and relationships inside the space. The potential for flood risk inside high-density population areas may be associated to the physical aspects and land use and cover, allowing the analysis of susceptibility to the event. The present work aimed to apply spatial analysis to the study of socioenvironmental vulnerability of Campinas city. Firstly, the Social Vulnerability Index (IV_{social}) was generated from integrated socioeconomic indexes. After that, the multicriteria decision method was applied through the Analytic Hierarchy Process (AHP) to obtain the map of flood risk. From the maps IV_{social} and potential flood risk, the multicriteria decision method was applied to generate Socioenvironmental Vulnerability Index ($IV_{\text{socio-environmental}}$). The results indicated the predominance of classes with High and Medium High IV_{social} in the south, east and northwest areas of the city of Campinas, which may be the reflection of the displacement and population increase, due to the trend of urbanization with industrial development since the end of 1920 years. The areas with High flood risk are located in the land section with lower slope and on fluvial plains. The $IV_{\text{socio-environmental}}$ ranged between the Low to High Medium classes. It should be mentioned that approximately 656 thousand people (60% of the total population) is living inside areas of High and Medium High vulnerability, among which 64.31% have an average income between one and two minimum wages. These areas with High and Medium High scores for $IV_{\text{socio-environmental}}$ are frequently spread over the southern, western and northern regions due to the high IV_{social} indexes and to the location at floodplains of Quilombo and Atibaia Rivers. The areas with Medium Low $IV_{\text{socio-environmental}}$ score were in the northeast region of the city, where is the Environmental Preservation Area (APA) of Campinas, encompassing the districts of Sousas and Joaquim Egídio. The results corroborated, therefore, the assumption that the high levels of social and environmental vulnerability occur in the areas with the highest population density and low socioeconomic status.

Keywords: Multicriteria Decision Analysis, Vulnerability Analysis, Risk, Floods.

1. INTRODUÇÃO

A análise espacial permite representar os fenômenos ambientais e antrópicos, e assim, compreender suas interações nos processos de ocupação e transformação do espaço. Quando aplicada em estudos de áreas urbanas, a análise espacial estabelece relações diretamente proporcionais ao estágio do processo de urbanização e sua expansão. Por outro lado, também permite avaliar a adequação do planejamento para dimensionar problemas associados à carência de infraestrutura básica; poluição da água/ar; acessibilidade/transporte; déficit habitacional; enchentes/inundações; destruição da cobertura vegetal; movimentos de massa/ deslizamentos, entre outros (BEDÊ *et al.*, 1994; MENDONÇA, 2004).

A ocupação de áreas urbanas de forma desordenada é um dos fatores que torna uma parcela da população das cidades brasileiras vulnerável aos perigos socioambientais. Dentre eles, destaca-se o risco à inundação. No Brasil, as inundações também têm ocorrido com maior frequência e magnitude nas últimas décadas, em

praticamente todas as regiões do país. Essa problemática ocorre, principalmente, em razão do processo de ocupação das margens de rios e impermeabilização do solo de bacias urbanas (HORA & GOMES, 2009), tornando a inundação um desastre que afeta milhões de pessoas anualmente, conforme dados disponibilizados pelo EM-DAT (*International Disaster Database*) (GUHAR-SAPIR *et al.*, 2016). Diante desta realidade, tem-se discutido medidas preventivas e estratégias de planejamento que possam diminuir os impactos dos eventos de inundação (AMARAL & RIBEIRO, 2009). Dentre essas medidas, o mapeamento das áreas de risco à inundação se constitui em uma informação útil à prevenção, ao controle e à gestão das inundações (TUCCI & BERTONI, 2003).

Entende-se, porém, que o mapeamento das áreas de risco ou susceptíveis à inundação pode não ser o suficiente para revelar a real dinâmica e os efeitos das inundações, porque o potencial de danos também está associado a vulnerabilidade socioeconômica (HOGAN *et al.*, 2001).

Nessa perspectiva, o presente trabalho tem como objetivo analisar a vulnerabilidade socioambiental no município de Campinas – SP. A partir da identificação e mapeamento das áreas de risco potencial de inundação. Campinas constitui-se em um importante polo industrial e tecnológico do estado de São Paulo e nas últimas décadas passou por intenso processo de modernização dos setores industrial e agrícola (IBGE, 2011). O crescimento urbano do município de Campinas esteve associado à crise do setor cafeeiro do estado de São Paulo, a partir de 1930, que proporcionou a transferência de investimento do setor agrícola para a construção civil. Essa transferência de capital, aliada à ampla infraestrutura de transporte, face a aptidão da cidade como importante entreposto mercantil, culminou na transformação de Campinas em um centro econômico do interior do estado (CANO & BRANDÃO, 2002).

O crescimento econômico proporcionou um acelerado processo de urbanização e movimento migratório, porém este crescimento não foi acompanhado por uma expansão equivalente dos serviços urbanos, o que propiciou o uso desigual dos espaços urbanos, problemas relacionados ao abastecimento de água e tratamento de esgoto, ocorrência de inundações, como também problemas no transporte, devido ao alto fluxo de pessoas e mercadorias (VITTE *et al.*, 2010). O município tem recorrentes eventos de inundação, principalmente durante o período chuvoso no verão, isso se deve ao processo de ocupação do espaço urbano que, inicialmente, ocorria nos topos aplainados de colinas e morrotes e, posteriormente, passou a ocupar as áreas de vertentes e várzeas fluviais com o parcelamento do solo antes ocupado por fazendas cafeeiras (VITTE *et al.*, 2010). Torna-se, necessário portanto, compreender sua problemática ambiental relativa a inundações, como também identificar os diferentes níveis de vulnerabilidade socioambiental do município (HOGAN *et al.*, 2001).

Neste trabalho assume-se a premissa que a vulnerabilidade socioambiental está relacionada ao potencial de risco a inundação nas áreas do município de Campinas. Portanto, admite-se que há uma relação entre densidade populacional e sua estratificação em diferentes padrões socioeconômicos. Assim, a influência dos aspectos pedo-geomorfológicos em uma área com clima tropical pode desencadear frequentemente eventos de risco associados a prejuízos sociais e ambientais (TOMINAGA, 2009).

2. RISCO E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL

A partir da abordagem socioambiental, onde a análise baseia-se na articulação entre sociedade e ambiente, os riscos e problemas ambientais vão compreender todo o espaço geográfico. Porém, é em sua dimensão urbana que as contradições ganham maior relevância, o que traz diversos problemas advindos dessa antinomia – sociedade e ambiente (RODRIGUES, 1998). São as cidades, e principalmente os grandes centros urbanos, como o caso de Campinas, que são responsáveis pela conformação de vários problemas ambientais na atualidade, com destaque para as inundações em um país de clima tropical como o Brasil.

Uma característica desta abordagem é que a mesma leva em consideração as relações existentes entre a própria sociedade, o que faz com que as condições de vida da população assumam papel decisivo na exposição dos indivíduos, ou grupo social, à uma ameaça, isto é, estar sujeito ao perigo que seja percebível e que esteja suscetível aos seus efeitos (VEYRET & RICHEMOND, 2007). É nessa perspectiva que os conceitos de risco e vulnerabilidade vão ser importantes para a análise da problemática ambiental urbana pautada nas inter-relações entre sociedade e ambiente (MENDONÇA, 2009).

É importante destacar que os conceitos de risco e vulnerabilidade estão intrinsecamente associados, porém diferem entre si, já que o risco implica a exposição das pessoas a perigos externos e a vulnerabilidade mede a capacidade de resposta a ocorrência de eventos danosos

(PNUD, 2007). Nota-se que os conceitos de risco e vulnerabilidade estão ligados ao perigo, considerando que o risco de ne a exposição e a vulnerabilidade concerne à suscetibilidade a ele, ficando ainda mais evidente quando constata-se que a geração e exposição dos riscos ambientais são cada vez menos dependentes das circunstâncias naturais e cada vez mais resultantes das intervenções sociais e culturais, que desencadearão uma espécie de risco ambiental antropizado (DESCHAMPS, 2004; MARANDOLA JR & HOGAN, 2006).

Isso demonstra a importância da vulnerabilidade no estudo ambiental em espaços urbanos, pois vai indicar a exposição física da população a um perigo e também a capacidade desta em se recuperar de eventos causadores de impactos negativos (MENDONÇA, 2004). Nesse contexto a vulnerabilidade permite identificar a coexistência de exposição ao risco, capacidade de reação e grau de adaptação diante da materialização do risco (MARANDOLA JR & HOGAN, 2006). Cabe salientar que o risco ambiental é engendrado pela associação de fenômeno de ordem natural em locais de ocupação antrópica, permitindo a análise de como sua ocorrência afeta a vida humana no espaço/tempo (CASTRO, 2003).

Desse modo, a adoção da abordagem de vulnerabilidade socioambiental possibilita integrar a dinâmica social e dinâmica ambiental,

permitindo a identificação de situações geográficas distintas, pois as condições econômicas, sociais, políticas e culturais da população de nem a capacidade de absorver ou resistir aos impactos diante da materialização de um risco (MENDONÇA *et al.*, 2016).

A análise dessa problemática requer a utilização de uma ampla gama de variáveis, tornando necessário o emprego de técnicas e métodos adequados. Nesse sentido, a análise espacial se une à temática da vulnerabilidade socioambiental, como uma forma de reestruturar e espacializar a integração de dados, que visam a distribuição espacial e identificação de padrões (ROSA, 2011). A análise espacial possibilita a representação de fenômenos físicos, ambientais e antrópicos, e assim, auxiliar na compreensão das interações e processos de ocupação e transformação do espaço.

3. MÉTODO

Esta seção é composta por uma breve contextualização da área de estudo e a descrição dos procedimentos metodológicos empregados.

3.1 Área de estudo

O município de Campinas, localizado no interior do estado de São Paulo, Brasil (Figura 1), possui uma área de aproximadamente 795km².

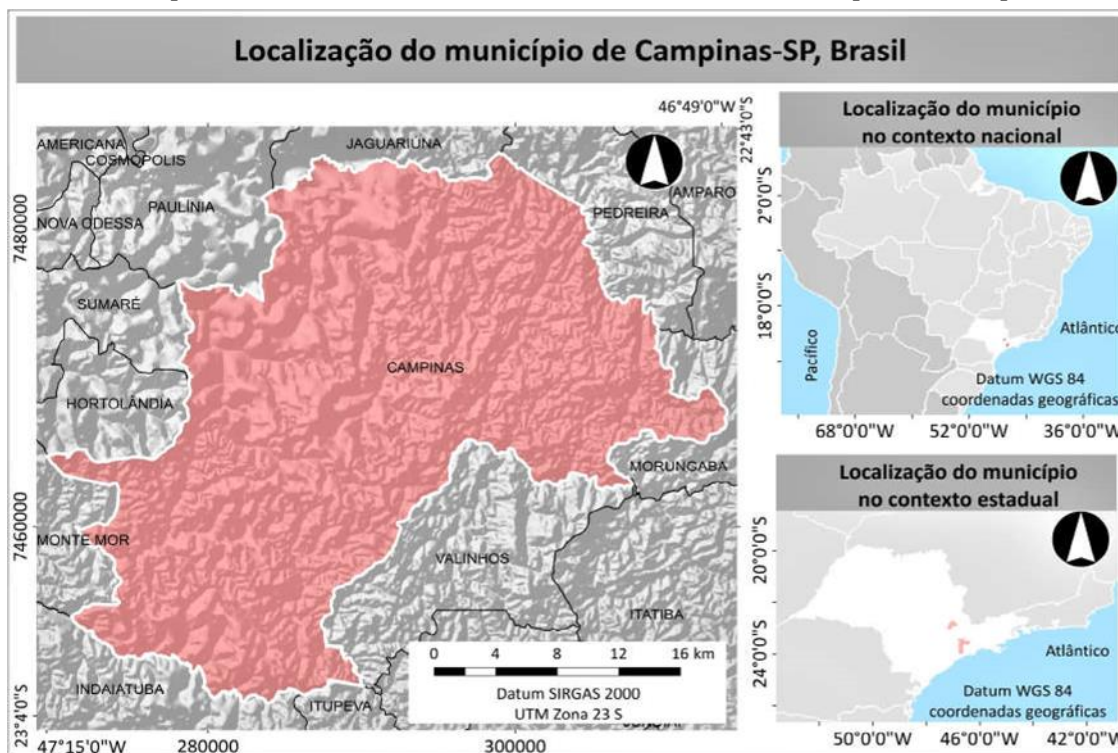


Fig. 1 - Mapa da localização geográfica da RMC. Fonte: IBGE (2015).

Seu território está inserido em uma área de contato entre duas unidades morfoestruturais, sendo a área majoritária inserida na Depressão Periférica Paulista, onde o relevo é suave, composto por colinas, planícies e terraços fluviais, embasado por rochas de origem sedimentar com ocorrência de intrusões magmáticas; e o setor leste no Planalto Atlântico, onde se tem o predomínio de relevo composto por morros e morrotes, com substrato formado por rochas magmáticas e metamórficas (IPT & CPRM, 2014). O tipo climático, de acordo com a classificação de Koeppen é considerado Cwa – clima subtropical de inverno seco e verão quente, com precipitação média anual de 1.424,5mm (CEPAGRI, 2017). Campinas possui população de 1.080.113 habitantes, dos quais cerca de 98,3% residem em áreas urbanas apresentando uma alta densidade demográfica, com 2.520hab/km² (IBGE, 2011).

3.2 Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IV_{socioambiental})

O Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IV_{socioambiental}) foi obtido pela análise espacial em sistemas de informação geográfica, pelo método multicritério de integração de dados, agregando os mapas de Índice de Vulnerabilidade Social e de Risco Potencial de Inundação.

Os procedimentos necessários para elaboração dos mapas que compõe o IV_{socioambiental} estão descritos nos itens (a), (b) e (c).

O Índice de Vulnerabilidade Social (IV_{social}) foi constituído por oito parâmetros extraídos do Censo Demográfico de 2010 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que permitiu definir os setores censitários como unidade de área para o mapeamento desse índice. Os oito parâmetros foram agrupados em seis indicadores (Quadro 1) e ponderados pelo Índice de Desenvolvimento Humano de Campinas, conforme a Equação 1. Para padronizar os dados censitários, os indicadores de vulnerabilidade foram escalonados de 0 a 1, adotando zero (0) como valor da variável mínima e um (1) o valor da variável máxima (FRITZSCHE *et al.*, 2014). Pela técnica dos Quantis, o índice de vulnerabilidade obtido foi classificado em cinco intervalos de ocorrência: baixa, média-baixa, média, média-alta e alta.

$$IV_{social} = \frac{D_d + N_m + M_m + T_xDEP + T_xA + T_xRENDAcarente}{IDHM} \quad (1)$$

(a) O mapeamento das áreas de Risco Potencial de Inundação (Risco_{potencial inundação}) foi realizado pelo método de análise AHP (*Analytic Hierarchy Process*) proposto por Saaty (1977), que consiste na elaboração de uma escala de

importância entre os parâmetros analisados por comparação pareada, a partir do cálculo dos autovalores e autovetores da matriz (Quadro 2), que possibilitam a percepção de uma hierarquia de importância entre os parâmetros (BERGER *et al.*, 2007; MAGALHÃES *et al.*, 2011).

Quadro 1: Dados demográficos (Censo 2010) e indicadores de vulnerabilidade

Dados Demográficos	Indicadores de Vulnerabilidade	Equação
Densidade Demográfica	Densidade Demográfica	D_d
Número de moradores no setor	Número de moradores no setor censitário	N_m
Média de moradores por domicílio	Média de moradores por domicílio	M_m
Porcentagem de população > 65 anos	Soma da proporção da população ≥ 65 anos e < 12 anos	T_xDEP
Porcentagem de população < 12 anos		
Porcentagem de pessoas analfabetas acima de 12 anos	Proporção de pessoas analfabetas acima de 12 anos	T_xA
Porcentagem de responsáveis sem rendimento	Soma da proporção dos responsáveis sem rendimento e com rendimento de até 1 salário mínimo*	T_xREN $DA_{carente}$
Porcentagem de responsáveis com rendimento até 1 salário mínimo		

* Salário mínimo em 2010, aproximadamente, correspondia a US\$ 342,00.

Fonte: Elaborado conforme indicadores utilizados por Goerl *et al.* (2012).

Quadro 2: Escala de comparação

Valores	Importância comparativa
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

2,4,6,8	Valores intermediários. Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i
---------	--

Fonte: Saaty (1977).

Os parâmetros definidos para este estudo foram hipsometria, declividade, uso e cobertura da terra e tipo de solo - Pedologia, baseando-se na premissa destes serem fatores que influenciam, de forma direta, no escoamento de água superficial e, portanto, podem interferir no acúmulo de água e, conseqüentemente, provocar um evento de inundação (AMARAL & RIBEIRO, 2009).

Foi gerado um banco de dados geográfico no SIG *ArcGIS 10.4.1* (ESRI, 2016) para a composição dos parâmetros da análise de áreas com risco potencial de inundação (Quadro 3). Estes parâmetros foram obtidos pelo tratamento de: (1) mapa hipsométrico do município de Campinas classificado em 09 classes altimétricas, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) – TOPODATA (VALERIANO & ROSSETTI, 2012); (2) mapa de declividade, gerado pelo MDE – TOPODATA e reclassificação em 06 classes, conforme proposta de EMBRAPA (1979); (3) mapeamento de uso e cobertura da terra da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos 5 (SMA, 2013), delimitado ao município de Campinas e reclassificação pelas classes de uso e cobertura da terra, conforme IBGE (1999); e (4) mapa de classes de solo obtido por digitalização das feições e reclassificação do Mapa Pedológico Semidetalhado do município de Campinas, na escala 1:50.000 (VALLADARES, *et al.*, 2008), empregando o agrupamento das classes de solos pelo segundo nível categórico do sistema brasileiro de classificação de solos (SANTOS, *et al.*, 2006).

Pelo AHP produziu-se a matriz de decisão para os quatro parâmetros utilizados: hipsometria, declividade, uso da terra e tipo de solo, conforme a relação de importância pareada, nos quais também foram atribuídas cargas individuais para as variáveis que compõem cada parâmetro. Para a atribuição de pesos, utilizou-se quatro matrizes de comparação que obtiveram

consistência, elaboradas pelos autores e um especialista na área de estudo. Esse procedimento foi adotado para diminuir o grau de subjetividade na atribuição destes pesos e as cargas, cujos valores obtidos estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3: Atribuição de pesos e as cargas

Parâmetro	Variável	Carga	Peso*
Hipsometria (m)	550 – 560	10	0,1234
	560 – 580	9	
	580 – 600	8	
	600 – 650	7	
	600 – 700	5	
	700 – 800	4	
	800 – 900	3	
	900 – 1000	2	
	1000 – 1084	2	
Uso e Cobertura da Terra	Áreas Urbanizadas	9	0,2095
	Cultivos Permanentes	4	
	Cultivos Temporários	6	
	Silvicultura	4	
	Pastagens/Campos	5	
	Área Florestal	2	
	Água	10	
	Solo Exposto	7	
Declividade (%)	0 - 3	10	0,5598
	3 - 8	8	
	8 - 20	6	
	20 - 45	3	
	45 - 75	2	
	> 75	1	
	Argissolo Amarelo	6	0,1071
	Argissolo Vermelho	6	
	Argissolo VermelhoAmarelo	6	
	Cambissolo Haplico	5	
	Complexo de Gleissolo Haplico e Melanico	9	

O $IV_{socioambiental}$ obtido foi definido pela ocorrência majoritária das classes em cada setor censitário. A escolha desta unidade de área permitiu a avaliação mais adequada da

Classes de Solos – Pedologia	Complexo Organossolos e Gleissolos	9
	Latossolo Amarelo	1
	Latossolo Vermelho	3
	Latossolo VermelhoAmarelo	2
	Luvissolo Crômico	8
	Neossolo Quartzarênico	4
	Nitossolo Haplico	7
	Nitossolo Vermelho	7

*Índice de consistência 0,06071

A Equação 2 de ne como o mapeamento das áreas de risco potencial de inundação foi produzido pelo método de sobreposição multicritério ponderado.

$$Risco_{potencial\ inundação} = Hipsometria \times 0,1234 +$$

$$Declividade \times 0,2095 + UsoCoberturaTerra \times 0,5598 +$$

$$TipoSolos \times 0,1071$$

(2)

O mapa risco potencial de inundação resultante foi classificado pela técnica dos Quantis em diferentes classes de risco: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, considerando a distribuição de frequência do fenômeno em relação à sua ocorrência espacial.

(c) Os produtos IV_{social} e $Risco_{potencial\ inundação}$ obtidos, respectivamente, nos itens (a) e (b) foram integrados pelo método multicritério ponderado (Equação 3 e Tabela 1) para produzir o Índice Vulnerabilidade Socioambiental ($IV_{socioambiental}$).

$$IV_{socioambiental} = IV_{social} \times 0,5 + Risco_{potencial\ inundação} \times 0,5$$

(3)

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O mapeamento de vulnerabilidade social obtido denota a predominância das classes com Alta e Média Alta vulnerabilidade nas áreas sul,

quantificação da população direta e indiretamente impactada pela ocorrência do risco potencial estudo.

Tabela 1: Análise multicritério ponderada

Mapas	Influência (%)	Classes	Escala de Valor
Índice de Vulnerabilidade Social	50	Alta	5
		Média-alta	4
		Média	3
		Média-baixa	2
		Baixa	1
Risco Potencial de Inundação	50	Alta	5
		Média-alta	4
		Média	3
		Média-baixa	2
		Baixa	1

oeste e noroeste do município, como pode ser observado na Figura 2. Embora valores altos de vulnerabilidade social possam ser verificados em todo o município, o mapeamento apresentou concentrações no setor sul. Essa configuração é engendrada pelos processos espaciais que conformaram a intensa

urbanização de Campinas, a partir dos meados de 1920 com o início do desenvolvimento industrial, não obedecendo critérios técnicos de planejamento e sem diretrizes de orientação para o crescimento. Como forma de mitigação desse processo, foi implementado o plano de modernização urbana, na década de 1930. Porém, o parcelamento e melhorias de infraestrutura foram concentradas no núcleo urbano, o que promoveu a valorização dessas áreas e, por consequência, o deslocamento da população menos favorecida para as áreas mais distantes (BADARÓ, 1996). Nas décadas seguintes a cidade expandiu-se em um ritmo controlado. Todavia, a partir de 1970, como resultado do incremento industrial e crescimento populacional, a cidade vivenciou o período de maior intensidade em termos de expansão, porém os serviços e infraestrutura não acompanharam o mesmo ritmo. Essa configuração foi relativamente sanada a partir da década de 90, com a elaboração e implementação dos planos diretores municipais.

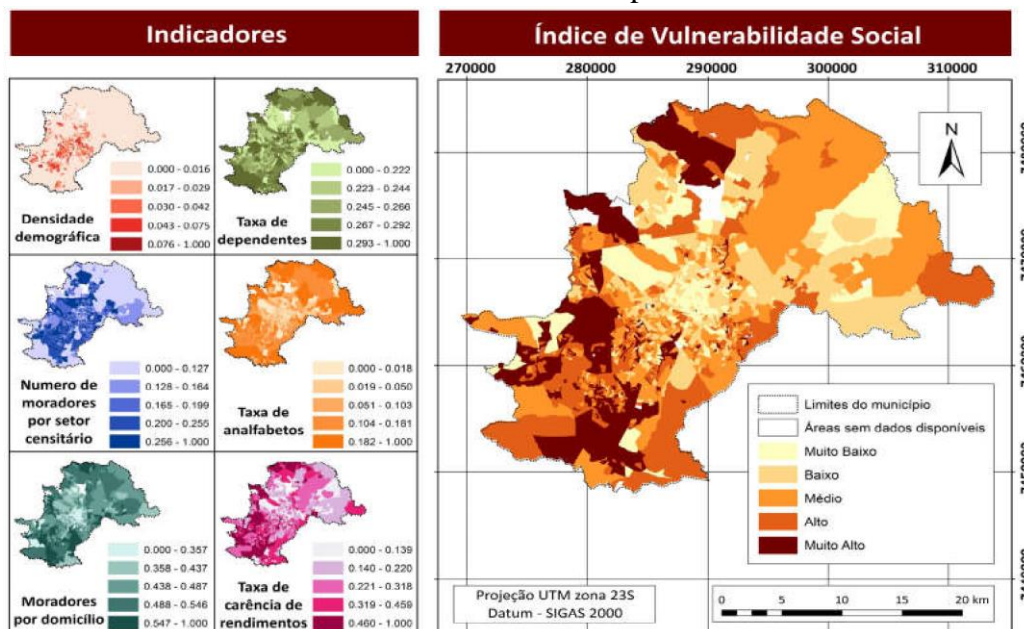


Fig. 2 – Mapa do índice de vulnerabilidade social de Campinas. Fonte: IBGE (2011).

Ao analisar os resultados obtidos em comparação com os índices de vulnerabilidade elaborados pelo Atlas da Vulnerabilidade Social dos Municípios Brasileiros (COSTA & MARGUTI, 2015) e Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (FUNDAÇÃO SEADE, 2013), observa-se algumas diferenças.

- No caso do atlas elaborado por Costa e Marguti, (2015), o município de Campinas está inserido em classe de baixa vulnerabilidade. Esse fato pode ser explicado pela escala de abordagem que considera o município como unidade de área e os indicadores são escalonados para todo o território nacional. Na segunda pesquisa realizada pela Fundação SEADE (2013), embora haja coincidência na unidade de área, existe divergências na classificação da vulnerabilidade.

Essas divergências podem ter ocorrido pelas diferenças de indicadores utilizados, pois no estudo não foram considerados variáveis relativas a escolaridade e densidade populacional. Ademais, em relação à taxa de dependentes por setor, Fundação SEADE (2013) considerou apenas a quantidade de crianças de até cinco anos.

De acordo com Deschamps (2004), a localização espacial das camadas sociais mais vulneráveis possui correlação com áreas de maior gradiente de riscos ambientais. No presente estudo, essa premissa foi comprovada, a partir da modelagem do potencial de risco de inundação que identificou às áreas suscetíveis a esse fenômeno, conforme o mapeamento apresentado na Figura 3.

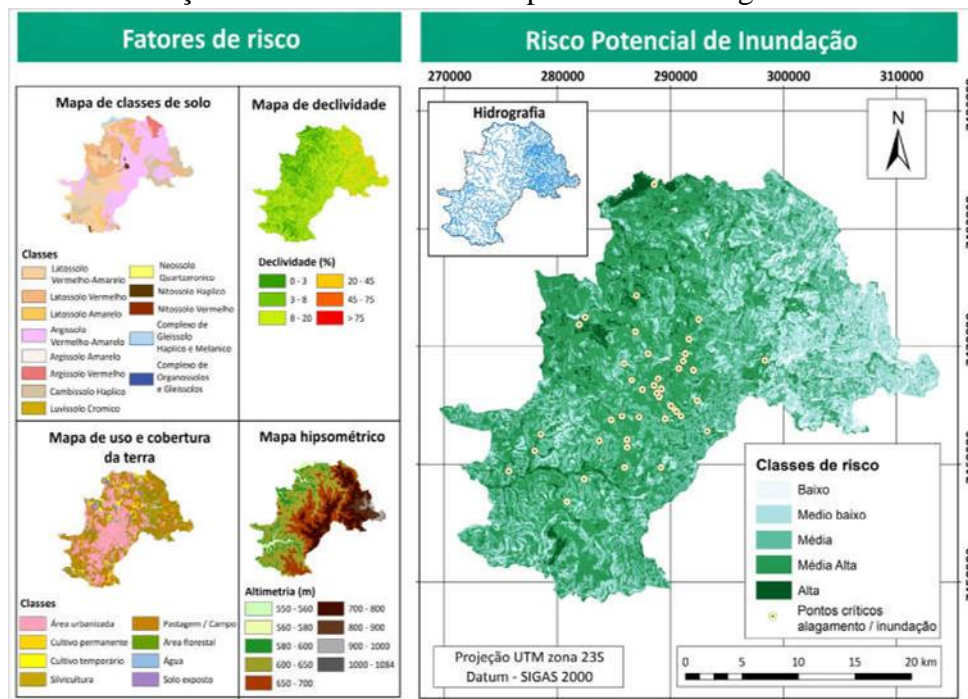


Fig. 3 – Mapa Risco Potencial de Inundação de Campinas. Organizado pelos autores. Mapeamento dos pontos críticos de alagamento/inundação (CAMPINAS, 2013).

As áreas com predominância de Alto e Médio Alto risco estão situadas essencialmente na unidade geomorfológica denominada Depressão Periférica Paulista. Dentro desse domínio, as classes com alto potencial de risco encontram-se em conformidade com a hidrografia nos trechos de menor declividade e suas planícies fluviais, como pode ser observado no mapa da Figura 3. Na área do município situada sobre a unidade Planalto Atlântico, o relevo mais movimentado de ne uma rede de drenagem

com vales encaixados. Verifica-se, portanto, que embora o modelo tenha considerado os fatores físicos (declividade, hipsometria e classes de solos) e antrópico (uso e ocupação da terra) foram os físicos que definiram a tendência das áreas potenciais de maior risco.

O modelo foi confrontado com o mapeamento dos pontos críticos de alagamento/ inundação elaborado pela prefeitura do município (CAMPINAS, 2013). Dos 41 pontos mapeados 28 (68%) coincidem com as áreas classificadas como de alto e

médio alto risco potencial, sendo 11 pontos (27%) em áreas de médio risco, comprovando que a ponderação com maior peso para as variáveis físicas produziu resultado satisfatório na modelagem do fenômeno, propiciando uma confiabilidade na análise da vulnerabilidade socioambiental.

O índice apresentou variação entre as classes Média Baixa à Alta, como pode ser observado na Figura 4 e nas tabelas 2 e 3. Porém, não foi evidenciada a classe de vulnerabilidade Baixa, uma vez que essa classe não apresentou ocorrência majoritária em nenhum setor censitário do município.

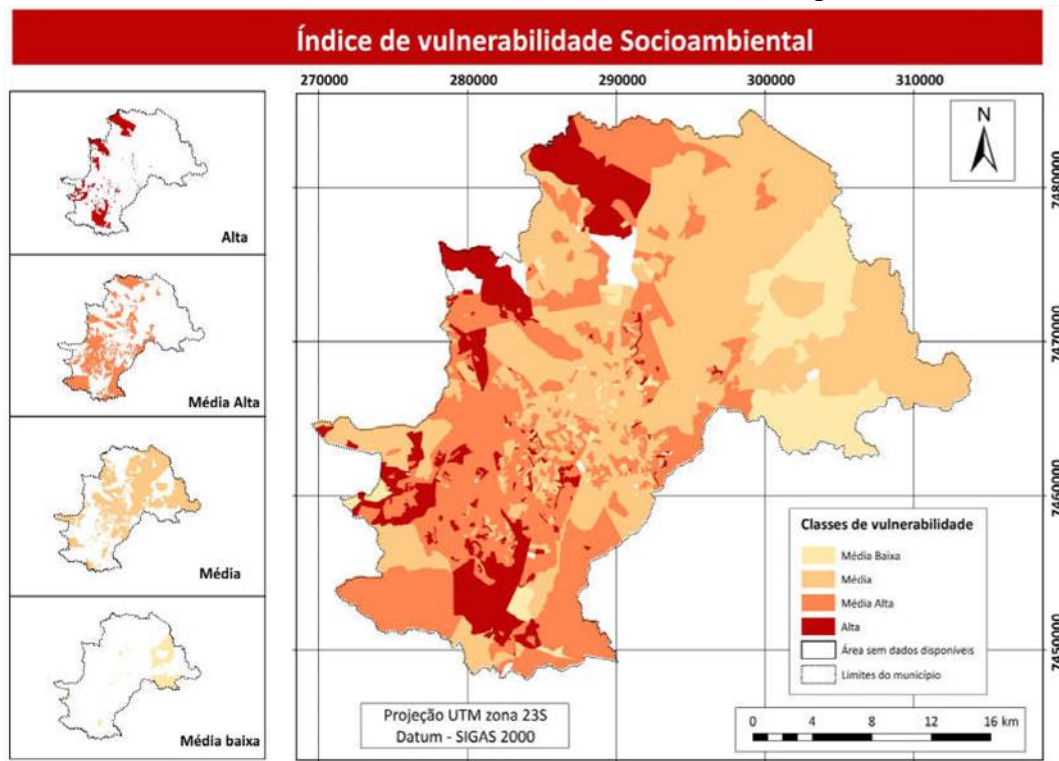


Fig. 4 – Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental do Município de Campinas, SP.

Tabela 2: Distribuição de área, população e rendimento médio nas classes do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental

IV _{socioambiental}	Área (km ²)	Área (%)	População	População (%)	Rendimento Médio (US\$)
Alta	88,11	11,09	191302	17,71	302,48
Média Alta	243,79	30,68	464489	43,00	510,89
Média	372,31	46,86	379717	35,16	1191,10
Média Baixa	77,05	9,70	38518	3,57	1405,78
Baixa	-	-	-	-	-
Não mapeado	13,31	1,68	6087	0,30	-
Total	794,57	100	1080113	100	-

A partir da análise da distribuição espacial dos índices de vulnerabilidade se pode notar que as áreas classificadas como Média Baixa são encontradas, predominantemente, na região nordeste do município, onde se encontra a Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal de Campinas, nos distritos de Sousas e Joaquim Egídio. Como também, em menor proporção, nas áreas de cabeceiras de drenagem, com cota altimétrica superior a 600m. As áreas de Média

vulnerabilidade distribuem-se por todo o município, com menor frequência na região sul. Nesta região ocorre o predomínio das classes de Média Alta e Alta vulnerabilidade, devido ao alto índice de vulnerabilidade social, pois as características físicas, assim como o risco potencial de inundação, são semelhantes aos encontrados nas áreas adjacentes, principalmente na região central do município. Vale salientar que trechos da região oeste e norte

também foram classificados na faixa Média Alta e Alta do índice, além da questão de apresentar alto índice de vulnerabilidade social, estas estão inseridas nas planícies de inundação dos Rios Quilombo e Atibaia.

Tabela 3: População e renda nas classes Alta e Média Alta vulnerabilidade socioambiental

IV _{socioambiental}	Renda (US\$)	População (%)
Alta	≤ 342,00	73,21
	343,00 a 684,00	26,60
	685,00 a 1026,00	-
	≥ 1026,00	0,19
Média Alta	≤ 342,00	22,14
	343,00 a 684,00	64,31
	685,00 a 1026,00	7,83
	≥ 1026,00	5,72

Desde um ponto de vista sistêmico, em que a premissa fundamental se constitui no fato de que o todo é mais complexo que a mera soma das partes, a abordagem teóricometodológica empregada evidenciou que para além do risco potencial de inundação, as condições de vida da população, mensuradas a partir dos indicadores que compõem o IV_{social} foram aquelas de maior evidência no IV_{socioambiental}. Nesse sentido, a população vulnerável (classes Alta e Média Alta do IV_{socioambiental}) é dada por setores censitários onde a maior parte da população residente possui elevada vulnerabilidade social e, está espacialmente associada as zonas de alto grau de potencialidade à ocorrência de inundações.

Tal fato corrobora com as afirmações de Olimpio e Zanella (2017) ao indicarem que só existe vulnerabilidade a partir do potencial de danos às populações humanas. Outros trabalhos que buscaram analisar a vulnerabilidade socioambiental a partir da integração de dados físicos e socioespaciais chegaram a resultados parecidos, tendo os aspectos sociais uma maior participação na classificação da vulnerabilidade. São exemplos os trabalhos realizados por Freitas e Cunha (2013) de comparação da vulnerabilidade socioambiental entre territórios do Brasil e de Portugal, além de Freitas *et al.* (2015) que mapeou a vulnerabilidade no município de Santos – SP, Brasil. Cabe aqui

também destacar o fato de que outras variáveis poderiam ser utilizadas no modelo de identificação da vulnerabilidade, como os indicadores do tipo de exposição ao risco, por exemplo: estrutura das edificações; altura das edificações em relação ao nível das ruas, tipo de pavimentação, impermeabilização do solo e tipos de vegetação. Tal como exposto por Birkmann *et al.* (2013), os indicadores devem ser abrangentes para considerar as dimensões social, econômica, física, cultural, ambiental e institucional para uma abordagem integrada da vulnerabilidade. Contudo, a seleção dos indicadores compõe o processo de modelagem com vistas à simplificação da realidade e possibilitar a cognição sobre o fenômeno estudado (HAGGETT & CHORLEY, 1974).

Destaca-se que aproximadamente, 42% da área do município possui classes vulnerabilidade Alta e Média Alta, atingindo 60,71% da população, com rendimento médio inferior a US\$510,89. Nas áreas de Alta vulnerabilidade encontram-se cerca de 191,5 mil pessoas, onde 73% possui renda de até um salário mínimo (US\$342,00). Esses setores também apresentam altas taxas de dependentes e de analfabetos.

Deve-se ressaltar que aproximadamente 500 mil pessoas residem nos setores que apresentam índice de vulnerabilidade Média Alta, dentre essa população, a maioria (64,31%) apresentam um per I socioeconômico de baixo rendimento mensal (entre um e dois salários mínimos) e apenas uma minoria da população desses setores (5,72%) pertence uma classe socioeconômica com maior poder aquisitivo (acima de três salários, com valor máximo de rendimento médio de US\$4.211,00). Isso demonstra que populações com diferentes classes socioeconômicas estão expostas ao risco, porém são mais vulneráveis a classe com menor rendimento, porque há maior densidade populacional dessa classe ocupando áreas com maior potencial de risco a inundação.

A alta concentração de população nas áreas com índices elevados de vulnerabilidade pode ser explicada pelo processo de desenvolvimento urbano de Campinas, que em seu início ocorria em um núcleo central e ao longo das vias ferroviárias instaladas nas áreas de média e alta vertente. Com a expansão urbana, a partir da década 1930, essas ocupações avançaram sobre as baixas vertentes e fundos de vales, conforme estudo realizado por Badaró (1996).

5. CONCLUSÕES

A análise vulnerabilidade socioambiental pelo risco potencial de inundação, que foram determinados associação de métodos multicritério e AHP em SIG, proporcionou índices (IV_{social} e $IV_{socioambiental}$) satisfatórios para avaliação de padrões espaciais da distribuição das áreas de riscos, bem como os fatores ambientais e socioeconômicos mais in uentes.

O índice de Vulnerabilidade socioambiental ($IV_{socioambiental}$) apresentou-se como um parâmetro capaz de retratar as premissas conceituais que de nem o grau de exposição ao risco e a capacidade de reação aos impactos decorrentes, os quais, no presente estudo, foram caracterizados pelo rendimento médio mensal, escolaridade e densidade populacional, associados à ocupação humana em áreas de baixa declividade em planícies uviais.

Os fatores físicos (declividade, hipsometria, uso e cobertura da terra e classes de solos) empregados no modelo avaliaram adequadamente a in uência de aspectos pedogeomorfológicos associados ao risco potencial de inundação, em concordância com as áreas de ocorrência de pontos críticos de alagamento/ inundações mapeadas pela prefeitura municipal de Campinas.

Como perspectiva para estudos futuros, recomenda-se relacionar os aspectos da geomorfologia fluvial com uso e ocupação do solo urbano, com intuito analisar a influência do nível de impermeabilização do solo no risco de inundação, em uma perspectiva de gestão de bacias hidrográficas. Além disso, é oportuno averiguar a influência da vulnerabilidade social gerada pela associação entre indicadores

demográficos e dados referentes ao entorno das áreas potencialmente expostas ao risco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTARO, J.; AMARAL, R. (Org.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: instituto Geológico. 2009. p. 39-52.

BADARÓ, R. S. C. **Campinas: o despontar da modernidade**. Campinas: CMU/UNICAMP, 1996, 161 p.

BEDÊ, L. C.; WEBER, M.; RESENDE, S.; PIPER, W.; SCHULTE, W. **Manual para Mapeamento de Biótopos no Brasil: base para um planejamento ambiental eficiente**. Belo Horizonte: Brandt Meio Ambiente, 1994. 99 p.

BERGER, M. V. S.; SILVA, M. C. da.; SALDANHA, J. C. S. Análise de vulnerabilidade da RPPN Cafundó. In: MORAES, A. C. de; SANTOS, A. R. dos. (Org.). **Geomática e análise ambiental**. Vitória, ES: EDUFES, 2007. p. 32-46.

BIRKMANN, J.; BIRKMANN, J.; CARDONA, O. D.; CARREÑO, M. L.; BARBAT, A. H.; PELLING, M.; SCHNEIDERBAUER, S.; KIENBERGER; S.; KEILER; M.; ALEXANDER, D.; ZEIL, P.; WELLE, T. Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. **Natural Hazards**, v. 67, n. 2, p. 193-211, 2013.

CAMPINAS. **Plano municipal de saneamento básico**. Prefeitura Municipal de Campinas, 2013. 36 p.

CANO, W.; BRANDÃO, C. A. (Coord.). A Região Metropolitana de Campinas: urbanização, economia, finanças e meio ambiente. Campinas: Editora da Unicamp, 2v., 2002. 415 p.

CEPAGRI. Clima dos Municípios Paulistas. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipiospaulistas.html>> Acesso: 02 outubro 2017.

- COSTA, M. A.; MARGUTI, B. O. (Orgs.). Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros. Brasília: Ipea, 2015
- CASTRO, A. L. C. Manual de desastres. Brasília: Ministério da Integração Nacional; Secretaria Nacional de Defesa Civil. V.1. 2003, 174 p.
- DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade socioambiental na região metropolitana de Curitiba**. Curitiba: UFPR, 2004. 155 p.
- EMBRAPA. Serviço nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. 80 p.
- ESRI. ArcGis advanced: release 10.4.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2016.
- FREITAS, M. I. C.; CUNHA, L. Cartogra a da Vulnerabilidade Socioambiental: Convergências e Divergências a partir de algumas Experiências em Portugal e no Brasil. **URBE – Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 1, p. 1531, 2013
- FREITAS, M. I. C.; ROSSETTI, L. A. F. G.; OLIVEIRA, R. B. N. Risk Mapping in urban áreas: methodological essay for sample área of Santos, São Paulo – Brazil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 67/5, edição especial 27º ICC, p. 953-962, 2015.
- FRITZSCHE, K.; SCHNEIDERBAUER, S.; BUBECK, P.; KIENBERGER, S.; BUTH, M.; ZEBISCH, M.; KAHLNBORN, W. The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. Verlag nicht ermittelbar, 2014. 180 p.
- FUNDAÇÃO SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Índice Paulista de Vulnerabilidade Social/IPVS. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/ipvs/apresentacao.php?ernet>>. Acesso: 15 abril 2017.
- GUHA-SAPIR D, HOYOIS PH., WALLEMACQ P. BELOW. R. Annual Disaster Statistical Review 2016: The Numbers and Trends.
- Brussels: CRED; 2016. Disponível em: <http://emdat.be/sites/default/files/adsr_2016.pdf> Acesso: 10 setembro 2017. 91 p.
- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho–SC. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.
- HAGGETT, P; CHORLEY, R. J. Modelos, Paradigmas e a Nova Geografia. In: CHORLEY, R. J; HAGGETT. P. (org.). **Modelos integrados em Geografia**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos / Ed. da Universidade de São Paulo, 1974. p. 1-20.
- HOGAN, D. J.; CUNHA, J. M. P.; CARMO, R. L.; OLIVEIRA, A. A. B. Urbanização e vulnerabilidade sócio-ambiental: o caso de Campinas. In: Migração e ambiente nas aglomerações urbanas. Campinas: NEPO/ UNICAMP, p. 395-418, 2001.
- HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e Avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**. v.21, n.2, p.57-75, Ago. 2009.
- IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra. nº 7**, Rio de Janeiro: IBGE, 1999. (Série Manuais Técnicos em Geociências). 171 p.
- IBGE - **Censo Demográfico 2010**. Resultados do universo por setores censitários, 2011. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>> Acesso: 07 fevereiro 2017.
- IBGE – **Malhas Territoriais 2015**. Malhas Municipais, 2015. Disponível em: <http://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/> Acesso: 07 fevereiro 2017.
- IPT; CPRM. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações município de Campinas-SP**. 2014. Disponível em: <http://www.sidec.sp.gov.br/producao/map_risco/uploads/doc1447942602.pdf> Acesso em: 20 set. 2017.
- MAGALHÃES, I. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. Uso de

- geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, p. 63-70, 2011.
- MARANDOLA JR, E.; HOGAN, D. J. **As dimensões da vulnerabilidade**. São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. 1, p. 33-43, 2006.
- MENDONÇA, F.; CUNHA, F. C. A.; LUIZ, G. C. Problemática socioambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, v. 12, n. 18, p. 331-352, 2016.
- MENDONÇA, F. Geografia, Geografia física e meio ambiente: Uma reflexão à partir da problemática socioambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, v. 5, p. 123-134, 2009.
- MENDONÇA, F. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 10, p. 139-148, 2004.
- OLIMPIO, J. L.; ZANELLA, M. E. Riscos naturais: componentes e relações entre natureza e sociedade. **Ra'e Ga O espaço geográfico em análise**, v.40, p. 94-109, 2017.
- PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008: Combater as alterações climáticas: Solidariedade humana num mundo dividido**. 2007. 386 p.
- PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Ranking IDHM Municípios 2010**. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2013 Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/>> Acesso: 15 abril 2017.
- RODRIGUES, A. M. **Produção e consumo do e no espaço: problemática ambiental urbana**. São Paulo: Hucitec, 1998. 193 p.
- ROSA, R. Análise espacial em geografia. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 01, p. 275-289, 2011.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- S M A - C O O R D E N A D O R I A D E PLANEJAMENTO AMBIENTAL, INSTITUTO GEOLÓGICO, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO **Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo da UGRHI 5 (PCJ)**. Escala 1:25.000, 2013.
- TOMINAGA, L. K. Análise e mapeamento de risco. In: TOMINAGA, L. K.; SANTARO, J.; AMARAL, R. (Org.) **Desastre Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p.147 -160.
- TUCCI, C.E.M.; BERTONI J. C. (Org). **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003, 150 p.
- VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**. v.32, p. 300-309, 2012.
- VALLADARES, G. S.; COELHO, R. M.; CHIBA, M. K. **Mapa pedológico do Município de Campinas, SP**. Campinas: CNPM, 2008. 9 p.
- VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. **Definições e vulnerabilidades do risco. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, p. 25-46, 2007.
- VITTE, A. C.; CISOTTO, M. F.; VILELA FILHO, L. R. A urbanização e a incorporação das várzeas ao espaço urbano de Campinas (SP), Brasil. **Revista Geografar**, v. 5, n. 1, p. 105-132, 2010.