

# ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO POTENCIAL E EMERGENTE NO REGIÃO NORTE-NOROESTE DO MUNICÍPIO DE CAMPINAS- SP

Vinícius Marques Müller Pessôa<sup>1</sup>, Camila Frandi Cecagno<sup>2</sup>, Danilo Mangaba de Camargo<sup>3</sup>  
Adalgiso Alves Camargo Júnior<sup>4</sup> e Mara Lúcia Marques<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup> Pontifícia Universidade Católica de Campinas-Centro de Ciências Ambientais e Tecnológica, Rod. Dom Pedro I, Km 136, Parque das Universidades, CEP: 13086-900, Campinas-SP. (vipessoa73@gmail.com; camilacecagno@hotmail.com; adalgiso.alves@hotmail.com; mara.marques@puc-campinas.edu.br); <sup>3</sup> UNESP - Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente - IGCE/RC, Av. 24 A, 1515. CEP: 13506-900. Rio Claro - SP (danilo.mangaba@gmail.com)

## RESUMO

Os modelos empíricos viabilizam o diagnóstico do ambiente urbano e contribuem para compreensão da influência do processo de antropização sobre os perigos naturais. Para analisar essas relações, este estudo objetivou aplicar o modelo de suscetibilidade potencial e emergente à inundações da região norte-nordeste de Campinas-SP. O método multicritério e a análise AHP foram utilizados na implementação do modelo. Os resultados obtidos demonstraram aumento das áreas com Forte e Muito Forte suscetibilidade emergente à inundações, que passaram de cerca de 28,18% para aproximadamente 42,77% da área analisada. Os resultados confirmam a eficácia do modelo na análise da suscetibilidade à inundações no processo de ocupação urbana.

**Palavras-chave** — Análise urbana, AHP, SIG

## ABSTRACT

*Empirical models for spatial analysis are able to the diagnoses of hazard in urban environment and contribute to understanding the relations of society to the nature. To approach the flood hazard in the region north-northeast of Campinas-SP, the present study aimed to apply the model of natural and anthropic susceptibilities to analyze the role of urbanization on environmental hazard. The multi-criteria method and AHP analysis were used in the implementation of the model. The results obtained demonstrated an increase in areas with Strong and very strong emerging susceptibility to flooding that's been about 28.18% to approximately 42.77% the area examined. The results confirm the effectiveness of the model in the analysis of susceptibility to flooding in urban occupation process.*

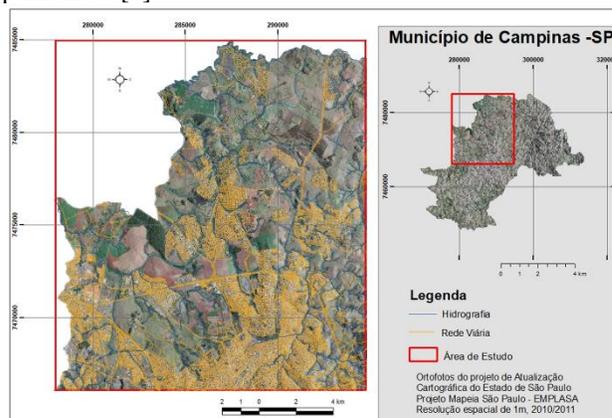
**Key words** — Urban analysis, AHP, SIG

## 1. INTRODUÇÃO

O emprego de modelos de análise espacial possibilita caracterizar as atividades que intervêm na construção do espaço, sejam fenômenos antrópicos ou naturais. Os modelos também permitem avaliar a adequação do planejamento para dimensionar problemas associados à carência de infraestrutura básica; acessibilidade; déficit habitacional; enchentes/inundações; destruição da cobertura vegetal; entre outros [1] [2] [3] [4]. A análise empírica dos ambientes

naturais e antropizados, baseada na abordagem espacial é importante na realização de diagnósticos que contribuem para compreensão das relações da sociedade e natureza [5]. Desta forma, o presente estudo, teve por objetivo diagnosticar o perigo de inundações na região norte-nordeste de Campinas – SP, pelo modelo de suscetibilidade potencial e emergente, bem como avaliar a aplicabilidade desse modelo na identificação de alterações ambientais decorrentes do processo de antropização do espaço.

Campinas constitui-se em um importante polo industrial e tecnológico do estado de São Paulo, nas últimas décadas passou por intenso processo de modernização dos setores industrial e agrícola [6] (Figura 1). Principalmente, a partir de 1930, devido a transferência de investimento do setor agrícola para o da construção civil, que proporcionou à reestruturação da infraestrutura de transporte. 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 para as áreas periféricas [7].



**Figura 1. Localização da área de estudo.**

No município são recorrentes os eventos de inundações, devido principalmente ao processo de ocupação do espaço urbano que, iniciou nos topos aplainados de colinas e morrotes e com a expansão urbana passou a ocupar as áreas de vertentes e várzeas fluviais [8]. Assim, torna-se primordial o estudo desse processo natural que associado a ocupação do solo pode desencadear risco à população, causando prejuízos sociais e ambientais [5] [9] [10]. A definição da área de estudo baseou-se em seu potencial de expansão urbana.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O mapeamento suscetibilidade Potencial (P) e Emergente (E) à inundação foi realizado pelo método multicritério e análise AHP (Analytic Hierarchy Process) proposto por Saaty (Quadro 1) [11]. A análise 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, que possibilitam a percepção de uma hierarquia de importância entre os parâmetros [12] [13].

**Quadro 1: 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

Os parâmetros definidos para este estudo foram hipsometria, densidade de drenagem, declividade, pluviometria e tipo de solo, para modelagem da suscetibilidade potencial e para o modelo emergente foi acrescentado o uso e cobertura do solo. Estes parâmetros foram definidos a partir da premissa de 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 [14].

Foi gerado um banco de dados geográfico no SIG ArcGis 10.5.1 [15], para a composição dos parâmetros e análise da suscetibilidade potencial e emergente (Quadro 2). Os parâmetros foram obtidos pelos procedimentos:

(1) mapa hipsométrico do município de Campinas classificado em 08 classes altimétricas, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 30m; (2) mapa de declividade, gerado pelo MDE foi reclassificado em 04 classes, conforme proposta da EMBRAPA [16]; (3) mapa de classes de tipos de solos obtido por digitalização das feições e reclassificação do Mapa Pedológico Semidetalhado do município de Campinas, na escala 1:50.000 [17], empregando o agrupamento das classes de solos pelo segundo nível categórico do sistema brasileiro de classificação de solos [18]; (4) para determinar a densidade de drenagem foi utilizado o plano de informação da rede hidrográfica obtido no site da Agência Nacional das Águas [19], escala 1:50.000, assim foi calculada a densidade de extensão de drenagem por quilômetro quadrado. Com referência na proposta de classificação de Vilella e Mattos [20] foram geradas cinco classes; (5) o mapa pluviométrico foi gerado a partir dos dados de 16 postos pluviométricos da região metropolitana de Campinas [21], foi mensurado a média anual de precipitação no período de 1997-2017 e interpolado pelo

método Inverso Ponderado da Distância (IDW); e (6) o mapeamento de uso e cobertura do solo foi realizado a partir da classificação digital da imagem orbital do sistema LANDSAT-8 OLI (Operational Land Imager), de 08/08/2018. Após o georreferenciamento foi realizada a fusão de bandas pelo algoritmo Gram-Schmidt (bandas multiespectrais 2, 3, 4, 5, 7 e a banda pancromática com 15m de resolução) [22]. Foi realizado o método de classificação por região, onde a imagem foi segmentada em áreas homogêneas definidas pelos limiares de área, textura, média e variância dos valores de reflectância espectral, foram atribuídos para similaridade 20; área 2; tamanho 1. Amostras de treinamento foram adquiridas para a classificação em função dos parâmetros: espectral, tonalidade e média; e espacial, compacidade e forma. A matriz de confusão e coeficiente Kappa validaram a classificação, obtendo os valores de acerto geral 92% e Kappa 0,91.

**Quadro 2: Pesos e cargas para Suscetibilidade Potencial**

Modelo de Suscetibilidade		P	E
Classes de Altitude (m)	Carga	*Peso	**Peso
550 – 560	8	0,033	0,032
560 – 580	7		
580 – 600	6		
600 – 650	6		
600 – 700	5		
700 – 800	5		
800 – 900	4		
900 – 1000	2		
Classes de Densidade de Drenagem (km <sup>2</sup> )		0,282	0,146
<0,5	2		
0,5 – 1,5	4		
1,5 – 2,5	6		
2,5 – 3,5	8		
>3,5	10		
Classes de Declividade (%)		0,345	0,244
0 – 3	10		
3 – 8	9		
8 – 20	7		
> 20	5		
Classes de Tipos de Solos		0,082	0,079
Argissolo Amarelo	6		
Argissolo Vermelho	6		
Argissolo Vermelho-Amarelo	6		
Cambissolo Haplíco	3		
Complexo de Gleissolo Haplíco e Melânico	10		
Complexo Organossolos e Gleissolos	10		
Latossolo Amarelo	5		
Latossolo Vermelho	5		
Latossolo Vermelho-Amarelo	5		
Nitossolo Haplíco	6		
Nitossolo Vermelho	6		
Classes Pluviométricas (mm)		0,260	0,189
114 – 119	4		
119 125,73	6		
Classes de Uso e Cobertura do Solo		----	0,306
Área Urbanizada	9		
Solo Preparado para o Cultivo	7		
Solo Exposto	6		
Pastagem/Campos	5		
Área Florestal/ Silvicultura	2		
Água	10		
Cobertura Asfáltica	9		

\*Índice de consistência 0,086

\*\*Índice de consistência 0,082

Pelo AHP produziu-se a matriz de decisão para os parâmetros utilizados, 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. Esse procedimento foi adotado para diminuir o grau de subjetividade na atribuição destes pesos e as cargas na mensuração da suscetibilidade potencial e emergente (Quadro 2). Os pesos definidos foram empregados na integração dos parâmetros na geração dos mapas de inundação potencial e emergente a partir do método de sobreposição multicritério ponderado.

### 3. RESULTADOS

O mapeamento dos parâmetros empregados na geração dos modelos de suscetibilidade à inundação potencial e emergente estão apresentados na Figura 2.

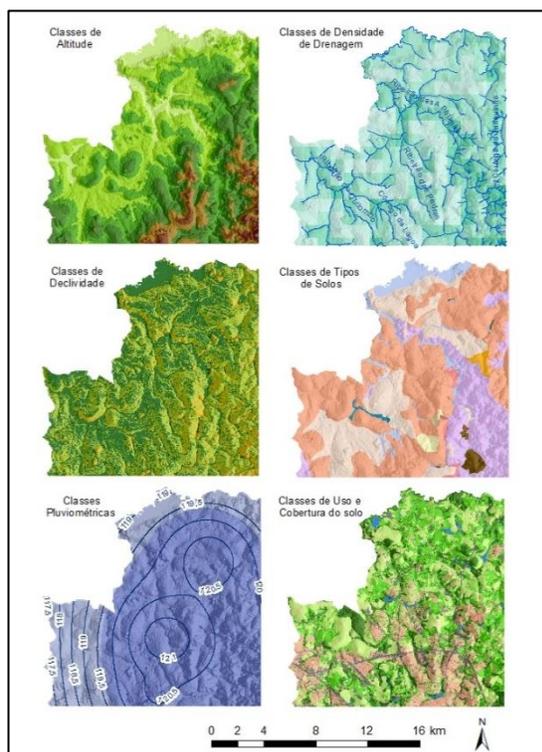


Figura 2. Mapas dos parâmetros empregados nos modelos de suscetibilidade.

A área apresenta relevo suave, composto por colinas, planícies e terraços fluviais, localizada na unidade morfológica da Depressão Periférica Paulista. Os solos predominantes na área são os Argissolos Vermelho e Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo. A densidade de drenagem por quilômetro quadrado é moderada, com predomínio das classes entre 1,5-2,5 e 2,5-3,5km/km<sup>2</sup>. A média de precipitação mensal é de 117,11mm [21], com classe climática Cwa – clima subtropical de inverno seco e

verão quente, de acordo com o sistema de classificação de Köppen-Geiger. O mapeamento de uso e cobertura do solo possibilita a caracterizar a área analisada como um espaço periurbano composto por áreas urbanas, rurais e naturais, contudo essas áreas sofrem crescente demanda da intensificação do uso do solo por atividades urbanas. Considerando as características naturais e antrópicas observa-se os resultados obtidos pelos modelos de suscetibilidade potencial e emergente (Figura 3).

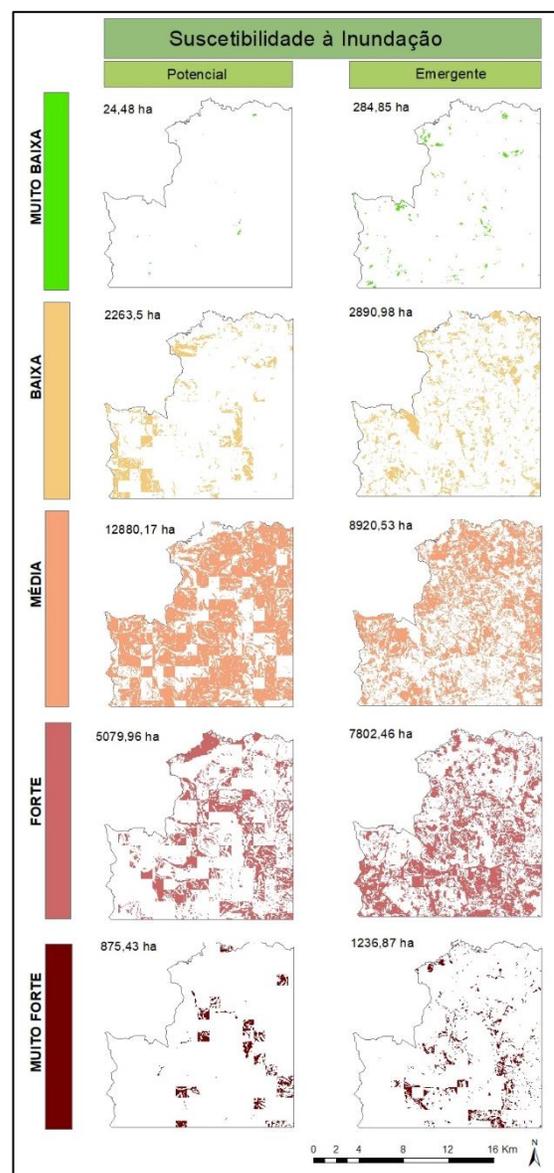


Figura 3. Suscetibilidade à inundação potencial e emergente.

Destaca-se que cerca de 61% da área possui Média Suscetibilidade Potencial à inundação, seguida de 24,04% com Forte e apenas 4,14% com Muito Forte suscetibilidade. Essa característica natural foi alterada, de acordo com os resultados obtidos no modelo de suscetibilidade emergente, onde as áreas de Média suscetibilidade foram reduzidas para

42,2% e a classes de Forte e Muito Forte suscetibilidade aumentaram para 37% e 5,85%, respectivamente.

#### 4. DISCUSSÃO

Como evidenciado nos resultados obtidos, o processo de urbanização e consequentes mudanças na cobertura do solo alteram a relação de escoamento e infiltração das águas superficiais. Essa variação da configuração das áreas de inundação pode ser entendida pelo processo de urbanização de Campinas, que passou por um período de intensa expansão, principalmente a partir de 1970, devido ao desenvolvimento industrial e crescimento populacional da cidade. A área analisada, mesmo não apresentando uma intensa urbanização, as mudanças de ocupação do solo influenciaram na potencialidade à inundação, uma vez que de maneira natural, por se tratar de uma área aplainada, em zona de maior incidência de chuvas no município, a região já apresenta valores predominantes de média e forte suscetibilidade.

#### 5. CONCLUSÕES

Os resultados confirmam a aplicabilidade do modelo de suscetibilidade potencial e emergente à inundação na avaliação do processo de ocupação urbana, podendo ser utilizado como ferramenta de apoio ao planejamento e gestão territorial.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] Garner, B.J. Modelo de geografia urbana e localização de povoações. In: Chorley, R.J. *Modelos integrados em Geografia*. Rio de Janeiro: USP, p.124-174, 1975
- [2] Longley, P.; Mesev, V. On the measurement and generalisation of urban form. *Center for Advanced Spatial Analysis. Working Paper Series*, 26 p., 2000.
- [3] Torrens, P.M. Can Geocomputation save urban simulation Throw some agents into the mixture, simmer, and wait... *Center for Advanced Spatial Analysis. Working Paper Series*, Paper 32, 37 p., 2001.
- [4] 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.
- [5] Ross, J.L.S. Análise empírica dos ambientes naturais antropizados. Laboratório de Geomorfologia. *Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo*, 1993.
- [6] IBGE - Censo Demográfico 2010. Resultados do universo por setores censitários, 2011. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>> Acesso: 07 agosto 2018.
- [7] Badaró, R.S.C. *Campinas: o despontar da modernidade*. Campinas: CMU/UNICAMP, 161 p., 1996.
- [8] 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.

[9] 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.

[10] 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, p.147 -160, 2009.

[11] Saaty, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

[12] 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, p. 32-46, 2007.

[13] 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.

[14] 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.

[15] ESRI. ArcGis advanced: release 10.5.1. Redlands, CA: *Environmental Systems Research Institute*, 2018.

[16] EMBRAPA. Serviço nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 80 p., 1979

[17] Valladares, G.S.; Coelho, R.M.; Chiba, M.K. *Mapa pedológico do Município de Campinas, SP*. Campinas: CNPM, 9 p., 2008.

[18] Santos, H.G. dos; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C. dos; Oliveira, V.A. de; Oliveira, J.B. de; Coelho, M.R.; Lumbrellas, J.F.; Cunha, T.J.F. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: *Embrapa Solos*, 306 p., 2006.

[19] ANA–Agência Nacional das Águas. Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas de Bacias do Atlântico Sul e Sudeste. 2018. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwerk/srv/pt/main.home>> Acesso em: 05 julho 2018.

[20] Villela, S.M.; Mattos, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p., 1975.

[21] DAEE – Departamento de Água e Esgoto. São Paulo, 2018. Disponível em: < <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>> Acesso em: 01 agosto 2018.

[22] Jensen, J.R. Urban/Suburban Land Use and Analysis. In: *Cowell, R.N. Manual of Remote Sensing*. Falls Church: American Society of Photogrammetry, p.1571-1666, 1983.

#### 7. AGRADECIMENTO

Ao apoio da Pontifícia Universidade Católica de Campinas pela concessão da bolsa de Iniciação Científica-FAPIC/Reitoria.