



# MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DOS FATORES FISIAGRÁFICOS DA BACIA DO RIO ATIBAIA COM ÊNFASE EM DESASTRES AMBIENTAIS

**Palavras-Chave:** Bacia hidrográfica, Inundações e enchentes, Uso da terra.

**Autores:**

**Bruno de Souza Garcia [UNASP]**

**Dr.<sup>a</sup> Ana Maria Heuminski de Avila (orientadora) [CEPAGRI/UNICAMP]**

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Camila da Silva Dourado (coorientadora) [CEPAGRI/UNICAMP e UNASP]**

---

## INTRODUÇÃO:

O processo de expansão acelerado do meio urbano, sobretudo no século XIX, gerou diversos problemas para a sociedade. Um desses problemas são as inundações urbanas: eventos nos quais as águas de uma rede de drenagem excedem o leito de escoamento e afetam a população que passou a residir ao redor desta área, em planícies passíveis de inundação (TUCCI, 2008).

A região de Campinas se caracterizou por um expressivo crescimento urbano e demográfico na década de 1970 e concentra alta densidade de nascentes de rios importantíssimos para o equilíbrio hidrológico dessa região do estado de São Paulo, sobretudo o rio Atibaia, cuja bacia hidrográfica possui 2.814,59 km<sup>2</sup>. Esta bacia tem sido estudo do projeto intitulado *Pilot flood and drought forecasting and early warning system for Atibaia River Basin* em parceria entre a Universidade de Cardiff-UK e a Unicamp, financiado pela Global Challenges.

Neste sentido, este trabalho objetivou a caracterização e análise dos fatores fisiográficos da bacia do rio Atibaia e sua influência nos processos de enchentes e inundações. E, o mapeamento de susceptibilidade à inundação para o município de Campinas para os anos de 2009 e 2019, com vistas a fornecer suporte à tomada de decisão referente às ações preventivas e mitigadoras dos impactos socioeconômicos e ambientais na região. Os resultados visam contribuir com o projeto supracitado.

## METODOLOGIA:

Para a caracterização morfométrica da bacia foram utilizados dados vetoriais referentes às sub-bacias do estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2013) e aos trechos de drenagem das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (ANA, 2013), ambas na escala 1:50.000 e informações de imagens do satélite ALOS sensor radar PALSAR com 12,5 metros de resolução espacial. Na análise das variáveis geométricas da bacia do rio Atibaia foram utilizados os seguintes parâmetros: área (TUCCI, 2001); perímetro (TUCCI, 2001); comprimento axial da bacia (VILLELA e MATTOS, 1975); fator de forma (VILLELA e MATTOS, 1975); coeficiente de compactidade (VILLELA e MATTOS, 1975) e índice de circularidade (NARDINI et al., 2013). Para a análise das variáveis de relevo, confeccionou-se, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, o modelo digital de elevação do terreno (MDET) e mapa de declividade da bacia, a fim de determinar sua altitude

e declividade máxima, média e mínima, assim como a amplitude altimétrica. Determinou-se também a razão de relevo e o índice de rugosidade (ROMERO et al., 2017). Por sua vez, para a avaliação da morfometria da rede de drenagem foram analisados os seguintes parâmetros: número e comprimento total da drenagem; comprimento real e vetorial do rio principal; densidade de drenagem (VILLELA e MATTOS, 1975) e índice de sinuosidade (BATISTA et al., 2017). A declividade média do rio principal, assim como sua altitude máxima, média e mínima e amplitude altimétrica foram extraídas a partir de seu perfil longitudinal (PALARETTI, 2013).

Para a estimativa do tempo de concentração foram empregados os métodos de Giandotti (MARTINS, 2000), Johnstone (SILVEIRA, 2005), Temez (TEMEZ, 1978) e US Corps Engineers (SILVEIRA, 2005), desenvolvidos para bacias de características físicas semelhantes à bacia do Atibaia, considerando como valor final a média simples dos valores obtidos nestes quatro métodos.

O método proposto para elaboração do mapa de susceptibilidade à inundação do município de Campinas nos anos de 2009 e 2019 tem por referência os critérios do Processo Analítico Hierárquico (AHP) desenvolvido por Saaty (1977). Verifica-se na literatura um acervo de estudos fundamentados no método AHP objetivando o mapeamento de áreas de risco de inundação, estabelecendo os aspectos pedológicos, altitude, declividade e uso e cobertura da terra, como os elementos de maior relevância na delimitação de áreas susceptíveis a inundação (LEAL et al., 2020; BORGES et al., 2015; MAGALHÃES et al., 2011). Para a análise das variáveis foram empregados os seguintes dados: modelo digital de terreno (MDT) e mapa de declividade, confeccionados a partir de imagens de satélite ALOS sensor radar PALSAR; Mapa Pedológico Semidetalhado do Município de Campinas (CAMPINAS, 2019), na escala de 1:50.000; quinta coleção de mapas de uso e ocupação da terra disponibilizados pelo Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MAPBIOMAS, 2021), para os anos de 2009 e 2019.

As variáveis estudadas foram então reclassificadas, atribuindo-lhes notas de 1 a 5 de acordo ao grau de importância destas ao risco de inundação, sendo o grau 1 (muito fraca), grau 2 (fraca), grau 3 (média), grau 4 (forte) e grau 5 (muito forte), conforme a tabela 1.

Grau	Variáveis			
	Declividade (%)	Altitude (m)	Uso e cobertura da terra	Pedologia
1	Escarpado (< 75%), Montanhoso (45-75%)	945-1045	Floresta	Neossolo
2	Forte-ondulado (20-45%)	845-945	Afloramento rochoso	Cambissolo, Latossolo
3	Ondulado (8-20%)	745-845	Uso agropecuário	Nitossolo, Luvisolo
4	Suave-ondulado (3-8%)	645-745	Área urbana	Argissolo
5	Plano (0-3%)	545-645	Corpos d'água	Gleissolo, Organossolo

Tabela 1 – Notas estabelecidas para a reclassificação das variáveis. Fonte: Adaptado de Leal et al., 2020.

Para a confecção dos mapas de susceptibilidade à inundação utilizou-se a técnica de álgebra de mapas no SIG, que consiste na aplicação de um modelo matemático (Equação 1), no qual se consideram os valores de influência de cada variável e as notas atribuídos a cada uma de suas classes (MANTIS e VAZ, 2019; BORGES et al., 2015, SANTOS et al., 2010).

$$RI = 0,0569 * TS + 0,1219 * UCS + 0,2633 * AL + 0,5579 * DE \quad (1)$$

Onde: RI = risco de inundação, TS = tipo de solo, AL = altitude, DE = declividade e UCS = uso e cobertura do solo.

Para a caracterização do mapa final, foram atribuídas as seguintes classes quanto à susceptibilidade à inundação: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto risco.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A análise dos fatores fisiográficos (Tabela 2) possibilitou determinar e compreender variáveis

Características Físicas	Unidades	Resultados
Área de drenagem (A)	km <sup>2</sup>	2.814,59
Perímetro (P)	km	579,71
Comprimento axial (C)	km	131,27
Fator de forma (Kf)	Adimensional	0,16
Coefficiente de compacidade (Kc)	Adimensional	3,06
Índice de circularidade (Ic)	Adimensional	0,11
Altitude mínima da bacia	m	499
Altitude média da bacia	m	850,3
Altitude máxima da bacia	m	2.026
Amplitude altimétrica (Hm)	m	1.527
Declividade mínima da bacia	%	0
Declividade média da bacia	%	20,2
Declividade máxima da bacia	%	279,6
Razão de relevo (Rr)	Adimensional	0,029
Índice de rugosidade	Adimensional	3,58
Ordem da bacia	-	7 <sup>a</sup>
Número total dos canais (n)	-	12.365
Comprimento total da drenagem (Cr)	km	6.599,48
Comprimento do rio principal (L)	km	257,48
Comprimento vetorial do rio principal	km	127,56
Altitude mínima do rio principal	m	504
Altitude média do rio principal	m	708,69
Altitude máxima do rio principal	m	802
Amplitude altimétrica do rio principal	m	1,306
Declividade média do rio principal	%	0,021
Densidade de drenagem (Dd)	km/km <sup>2</sup>	2,34
Índice de sinuosidade	Adimensional	2,02

Tabela 2. Características fisiográficas da bacia do rio Atibaia – SP.

importantes no auxílio ao planejamento e gestão ambiental da região. Quanto à forma da bacia, os valores obtidos para o fator de forma (0,16), índice de compacidade (3,06) e índice de circularidade (0,11) conferem a bacia do Atibaia um formato comprido e baixa tendência a enchentes (PALARETTI, 2013; NARDINI et al., 2013). A respeito do relevo, os baixos valores de razão de relevo e índice de rugosidade indicam uma menor declividade geral da bacia do rio Atibaia (ROMERO et al., 2017), confirmada pela declividade média da bacia da ordem de 20,2%, permitindo classificá-la com relevo forte-ondulado (LEPSCH, 2001). Esta classe de relevo apresenta moderada fragilidade à erosão e degradação ambiental, além de apresentar limitações à mecanização agrícola, recomendada no emprego de agricultura semi-intensiva (LEPSCH, 2001). As características da rede de drenagem, por sua vez, revelam a densidade de drenagem da bacia, assim como o índice de sinuosidade do rio principal. De acordo com Palaretti (2013), o valor

calculado de densidade de drenagem confere uma boa drenagem à bacia do Atibaia, permitindo inferir uma eficiente permeabilidade e infiltração de água na localidade. Por sua vez, o rio principal apresentou um índice de sinuosidade de 2,02, permitindo classificá-lo com um curso de água sinuoso (BATISTA et al., 2017).

A respeito do tempo de concentração, os resultados obtidos pelas diferentes fórmulas revelam uma

Método	Tempo de concentração (horas)
Giandotti	52,29
Johnstone	61,9
Temez	102,27
US Corps Engineers	65,11
Média	70,39

Tabela 3. Resultado do cálculo do tempo de concentração da bacia do Atibaia.

variabilidade de valores para a bacia do Atibaia (Tabela 3), em virtude às condições próprias em que foram determinadas cada uma das fórmulas. Neste estudo, adotou-se o valor médio entre os resultados como um indicativo ao tempo de concentração da bacia.

Quanto a avaliação dos processos de inundação, as figuras 1 e 2 retratam os resultados obtidos para

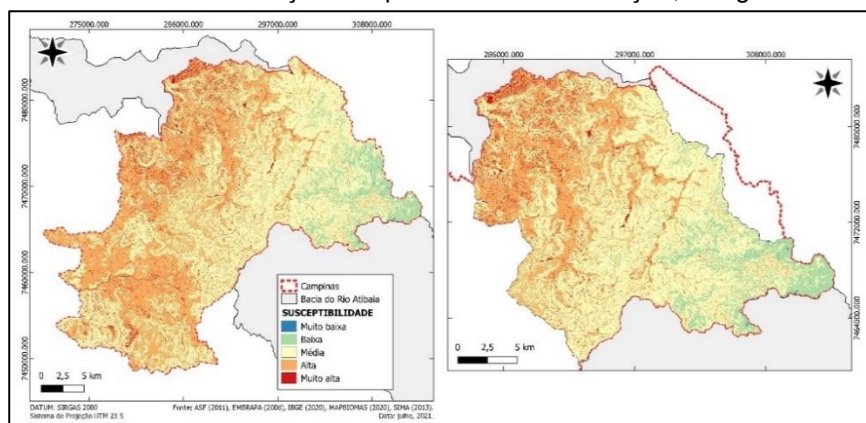


Figura 1 – Mapa de susceptibilidade à inundação do município de Campinas, com foco na bacia do Atibaia, para o ano de 2009.

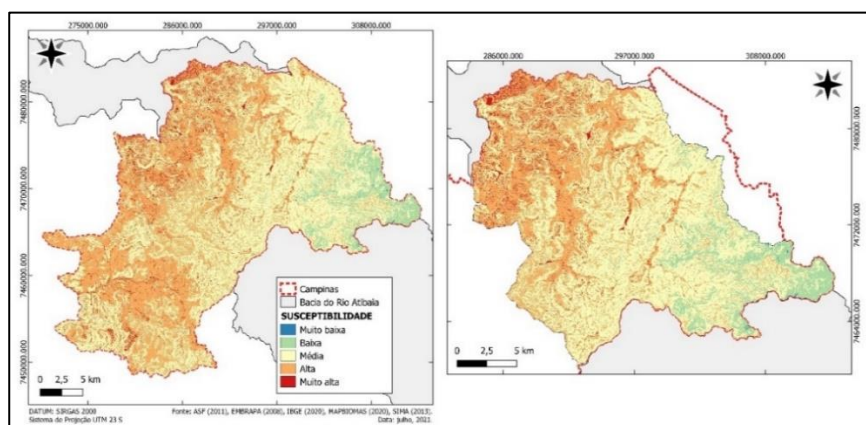


Figura 2 – Mapa de susceptibilidade à inundação do município de Campinas, com foco na bacia do Atibaia, para o ano de 2019.

a análise de susceptibilidade à inundação do município de Campinas com a aplicação do método AHP, nos anos de 2009 e 2019, evidenciando a área da bacia do Atibaia presente no município.

## CONCLUSÕES:

A caracterização da bacia hidrográfica do Atibaia quanto aos seus aspectos físicos e de tempo de concentração exercem papel fundamental para melhor compreensão dos processos hidrogeomorfológicos ocorrentes, além de agregar informações auxiliares a futuros estudos no tocante ao diagnóstico, planejamento e gestão ambiental na localidade. Por sua vez, para o município de

Campinas, baseado nas respostas obtidas neste estudo, o mapeamento quanto as áreas susceptíveis à inundação podem orientar a geração de novos estudos na escala de detalhe, para a determinação do perigo e risco, além de eleger áreas prioritárias às ações e programas governamentais no tocante à gestão urbana e ambiental visando à prevenção e contingência de possíveis impactos decorrentes dos processos de inundação.

## BIBLIOGRAFIA

ANA. Agência Nacional de Águas. Catálogo de Metadados da ANA. **Base Hidrográfica Ottocodificada das Bacias Hidrográficas do Piracicaba, Capivari e Jundiáí**. 2013.

BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P.; ROCHA, T.; BARBOSA, G. R. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio – GO. **Revista Geoambiente**, n. 29, p. 15-35, 2017.

BORGES, M. P.; CRUIVINEL, A. S.; FLORES, W. M. F.; BARBOSA, G. R. **Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações: estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – João Pessoa SBSR, XVII, 2015. 5897-5903 p.

CAMPINAS. Metadados. **Pedologia**. Disponível em: <<https://informacao-didc.campinas.sp.gov.br/metadados.php>>. Acesso em: 20 maio 2021.

- LEAL, F. C. B. S.; BARBOSA, I. M. R.; AQUINO, J. T. Mapeamento de áreas vulneráveis à inundação com uso do SIG e da análise multicritério: o caso da Bacia Hidrográfica do Rio Una em Pernambuco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. esp, p. 20-40, ago. 2020.
- LEPSCH, J.F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas, Soc.Bras.Cien.do Solo, 2001.175p.
- LIMA, W. de P. **Hidrologia Florestal aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ, 2008.
- MAGALHÃES, I. A. 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 Geociência**. v. 8, n. 2, p. 63-70, nov.; 2011.
- MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de áreas de risco de alagamento do município de Guarujá - SP utilizando método de análise hierárquica. **Leopoldianum**, n. 126, p. 69-85, 2019.
- MARTINS, F. J. P. **Dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2000.
- NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; BARROS, Z. X. D.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga**, v.18, n.4, p. 687-699, 2013.
- PALARETTI, L. F. **Manejo de Bacias Hidrográficas. Jaboticabal**, p. 11. 2013.
- Projeto MapBiomias – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**, acessado em 22 de abril de 2021 através do link: <https://mapbiomas.org/>
- ROMERO, V. et al. Estudo Hidromorfológico de Bacia Hidrográfica Urbana em Goiânia/GO. **Ciência e Natura**, v.39, n.2, p.320-340, jun/ago., 2017.
- SAATY, T. L. Scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, 15, p. 234-381, 1977.
- SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGÊNIO, F. C. (Coord.). **ArcGIS 9.3 total: aplicações para dados especiais**. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010.
- SÃO PAULO. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA). **Sub-bacias do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2013.
- SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**. Vol. 10, nº1. Porto Alegre. 2005.
- TEMEZ, J. R. **Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequenas cuencas naturales**. Madrid: Ministério de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU). Direccion General de Carreteras, N. 12. P. 1-111. 1978.
- TONELLO, K. C.; et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães MG. **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa MG, v. 30, n.5, p. 849-857, 2006.
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p.97-112, jun. 2008.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH, 2001. 943 p.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. 1975. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill.