

APLICAÇÃO DO MODELO HAND NA BACIA DO RIBEIRÃO DOS PERUS PARA ELABORAÇÃO DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO

Daiane K. Curti¹; Pâmela Rassignelli de Lima²; Vitor Cesar Nishimoto³; Silvana Costa Ferreira Senaha⁴; Manoel Gomes dos Santos Filho⁵; Odirney Benedito da Silva⁶

Resumo – O Mapeamento de Risco de Enchentes e Inundação em Assentamentos Precários é um estudo pioneiro no Município de São Paulo, que vem sendo realizado pela Coordenação Municipal de Defesa Civil (COMDEC). Como primeira etapa desse mapeamento, a identificação preliminar de áreas suscetíveis aos processos hidrológicos é um importante instrumento orientativo para o posterior levantamento de campo. Com esse objetivo, estão sendo elaborados mapas de suscetibilidade a enchente e inundação das bacias hidrográficas do município através da modelagem hidrodinâmica simplificada do modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), utilizando dados de superfície obtidos com o sistema LiDAR (*Light Detection and Ranging*) com alta resolução (0,5m). Este trabalho apresenta os resultados obtidos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Perus, que permitiram identificar 20 assentamentos precários dentro da superfície de inundação calculada, que serão alvo de levantamento de dados de campo na próxima etapa do mapeamento para classificação de risco hidrológico.

Abstract – The Flood Risk Mapping in Precarious Settlements is a pioneering study in the São Paulo area, that has been carried out by the Municipal Civil Defense Coordination (COMDEC). As a first step in this mapping, the preliminary identification of areas susceptible to hydrological processes is an important guiding instrument for the subsequent field survey. For this purpose, maps of susceptibility to flooding in the city's hydrographic basins are being elaborated through the simplified hydrodynamic modeling HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), using surface data obtained with the LiDAR system (*Light Detection and Ranging*) with high resolution (0.5m). This paper presents the results obtained in the Ribeirão dos Perus Hydrographic Basin, which allowed the identification of 20 precarious settlements within the calculated flood surface, which will be the subject of field data collection in the next stage of the mapping for hydrological risk classification.

Palavras-Chave – Mapeamento de risco; Enchente e inundações; Município de São Paulo.

¹ Geól., MSc, Prefeitura do Município de São Paulo, (11) 33311-8784, curti@prefeitura.sp.gov.br

² Geól., Prefeitura do Município de São Paulo, (11) 33311-8784, prlima@prefeitura.sp.gov.br

³ Geól., Prefeitura do Município de São Paulo, (11) 33311-8784, vnishimoto@prefeitura.sp.gov.br

⁴ Geól., MSc, Prefeitura do Município de São Paulo, (11) 33311-8784, ssenaha@prefeitura.sp.gov.br

⁵ Geól., Prefeitura do Município de São Paulo, (11) 33311-8784, mgsfilho@prefeitura.sp.gov.br

⁶ Geól., Prefeitura do Município de São Paulo, (11) 33311-8784, obsilva@prefeitura.sp.gov.br

1. INTRODUÇÃO

O projeto de Mapeamento de Risco de Enchentes e Inundações em Assentamentos Precários na Cidade de São Paulo vem sendo desenvolvido pela equipe da Coordenação Municipal de Defesa Civil (COMDEC), com o objetivo de identificar áreas mais vulneráveis aos processos hidrológicos, dentro dos assentamentos precários, de forma a indicar a necessidade de intervenções, bem como, priorizar ações de gerenciamento local do risco.

A avaliação da suscetibilidade a enchente e inundação de uma bacia pode ser feita de maneira efetiva por meio de técnicas de geoprocessamento, utilizando uma abordagem inovadora desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. Trata-se da modelagem hidrodinâmica simplificada do modelo HAND - *Height Above the Nearest Drainage* (Altura Acima da Drenagem Mais Próxima) (Rennó, 2008; Nobre *et al.*, 2011), que nos últimos anos vem sendo utilizada em diversos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis a inundação no Brasil (e.g. Momo *et al.*, 2016; Dantas & Canil, 2017).

A aplicação de técnicas de geoprocessamento na elaboração de material orientador pré-levantamento de campo é cada vez mais usual. Isso se deve principalmente às evoluções tecnológicas dos últimos anos, tanto na aquisição de informações de terreno, quanto na capacidade de processamento de dados com alta resolução. Na literatura, a aplicação do modelo HAND com dados de entrada de alta resolução para mapeamento de áreas suscetíveis a inundação ainda é recente, entretanto, Momo *et al.* (2016) demonstram que sua aplicação é considerada satisfatória.

No caso do mapeamento de áreas de risco, os trabalhos prévios orientadores de áreas críticas são extremamente importantes, em vista da dificuldade de acesso encontrada em algumas dessas áreas. No entanto, ressalta-se que os levantamentos de campo são imprescindíveis para aferição dos trabalhos prévios e classificação dos diferentes graus de risco (Brasil, 2007), além de manter a interação com a população, considerada primordial para o sucesso do gerenciamento do risco (Sulaiman & Jacobi, 2018).

A seguir, serão apresentados os métodos de trabalho e os resultados obtidos na elaboração do mapa de suscetibilidade a enchente e inundação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Perus, primeira etapa do projeto Mapeamento de Risco de Enchentes e Inundações em Assentamentos Precários na Cidade de São Paulo. A escolha desta bacia como estudo de caso é justificada pela existência de registros históricos de enchentes e informações obtidas nas comunidades.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A bacia do Ribeirão dos Perus abrange as subprefeituras de Perus e Pirituba-Jaraguá, na região noroeste da cidade de São Paulo, conforme mostra o Mapa de Localização da Figura 1. Esta bacia apresenta aproximadamente 30 km² e o principal curso d'água é o Ribeirão dos Perus, cuja nascente está situada a leste do Pico do Jaraguá, na região sudeste da bacia.

A porção norte da bacia é caracterizada por terreno urbanizado e parcialmente ocupada por minerações, com presença de barragens de rejeito e áreas remanescentes de Mata Atlântica. A porção sul da bacia é predominantemente urbanizada, apresentando poucos focos de Mata Atlântica remanescente, como o Parque Municipal Pinheirinho d'Água e uma fração da Reserva Estadual da Cantareira.

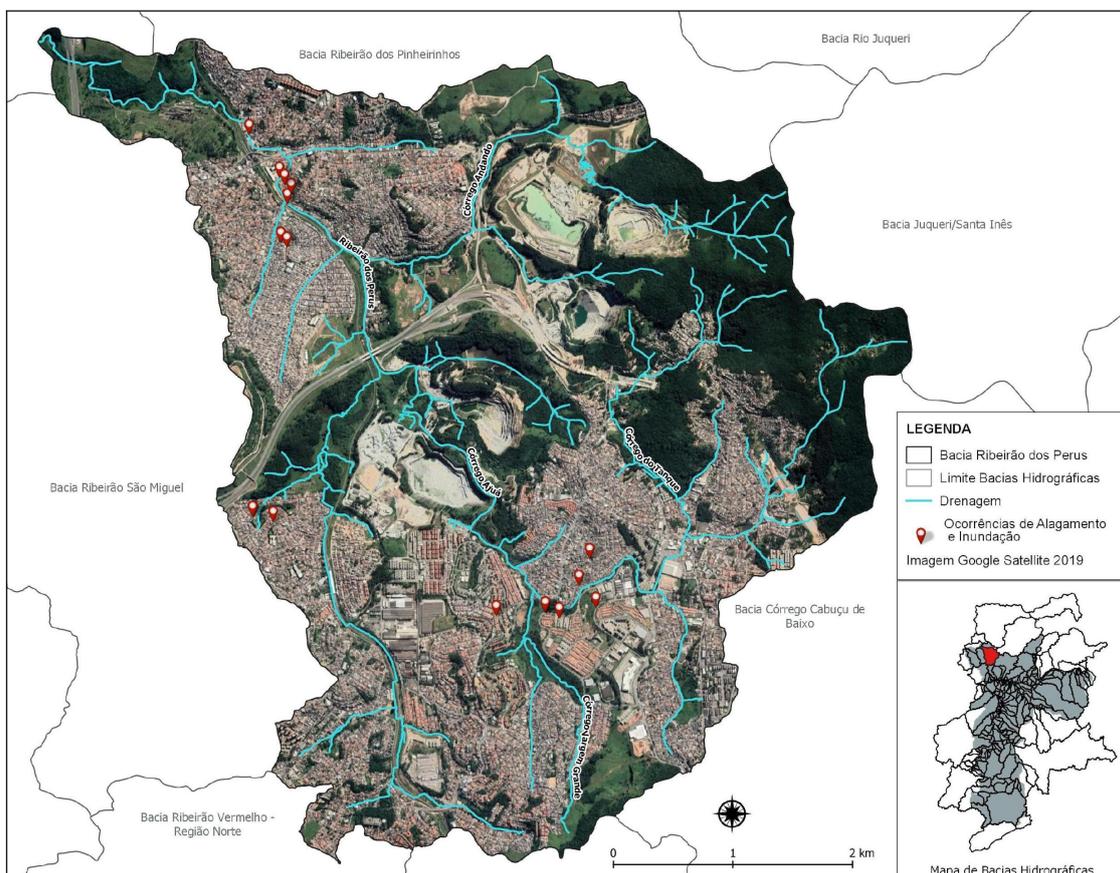


Figura 1. Mapa da Bacia do Ribeirão dos Perus com indicação de ocorrências de alagamentos e inundações.

A bacia do Ribeirão dos Perus apresenta histórico de inundações frequentes que geram diversos impactos socioeconômicos para a região. O portal Geosampa da Prefeitura do Município de São Paulo (São Paulo, 2019) disponibiliza os registros de ocorrências de alagamentos e inundações para o período de janeiro a dezembro de 2019, utilizados neste trabalho como referência de pontos críticos na bacia. Observa-se que as ocorrências se localizam predominantemente na porção do baixo curso do Ribeirão Perus e, localmente, em um afluente da margem esquerda no médio curso do Ribeirão Perus e no médio curso do Córrego Ajuá.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse estudo, o modelo HAND foi calculado através do MDT (Modelo Digital de Terreno) com resolução de 0,5 m, processado pelo laboratório SPAMLab do IEE-USP a partir de dados LiDAR (*Light Detection and Ranging*), adquiridos pela Prefeitura do Município de São Paulo e disponibilizados no portal Geosampa (São Paulo, 2019).

Inicialmente, foi utilizado o software livre *Terrahidro* (versão 5.0.1) para a elaboração dos subprodutos necessários para o cálculo do modelo HAND. Observa-se que essa versão do software apresentou melhor desempenho para o processamento dos dados de entrada com alta resolução. Os subprodutos foram gerados por métodos bem estabelecidos para extração de drenagem, que contam com quatro etapas de comando:

- 1º - “*th removepits*”: correção do MDT de modo a eliminar os possíveis ruídos;
- 2º - “*th d8*”: direção de fluxo de drenagem utilizando a regra da maior declividade;
- 3º - “*th d8ca*”: área de contribuição com cálculo da concentração de fluxo acumulado;

4º - “*th d8drainage*”: extração das drenagens com a área de contribuição definida pelo limiar mínimo para identificação das células que iniciam a drenagem.

Nessa última etapa foi constatado que o processamento de extração de drenagens da bacia com dados de entrada de alta resolução em ambiente urbano é profundamente afetado pelas interferências antrópicas, principalmente o arruamento, que acaba sendo calculado como drenagem.

Embora as ruas de fato correspondam a caminhos preferenciais por onde a água pluvial irá escoar, o modelo hidrodinâmico simplificado não considera a existência de sistemas de drenagens, como galerias pluviais, que conduzem as águas de forma a retirá-las rapidamente da superfície. Dessa forma, a modelagem hidrodinâmica simplificada acabará, equivocadamente, atribuindo ao arruamento condições de inundação excessiva. Para diminuir as interferências no modelo, foram produzidos mapas de rede de drenagens com diferentes limiares, buscando-se obter apenas as drenagens principais da bacia e os melhores resultados foram obtidos com limiar de 300.000 *pixels* para a escala deste trabalho, considerando o grau de urbanização da cidade de São Paulo.

Por fim, para a geração das superfícies de inundação utilizou-se o software livre *Terraview* (versão 0.4.4), desenvolvido pelo INPE, integrado com a extensão *TerraHidro* (versão 4.2.2), que permite que sejam calculados os dados hidrológicos necessários para a modelagem hidrodinâmica simplificada do modelo HAND. Por esse método, a superfície de inundação é obtida pelo cálculo das diferenças de desníveis entre o relevo e o talvegue das redes de drenagens superficiais. Na prática, cada célula representa a “altura acima da drenagem mais próxima” (Nobre *et al.* 2011).

Para a elaboração do Mapa de Suscetibilidade a Enchente e Inundação da Bacia do Ribeirão dos Perus foi realizada uma classificação da camada de superfície de inundação calculada (HAND) no software livre QGIS.org (2020). A classificação indica as diferentes alturas da superfície de inundação em relação à drenagem mais próxima, e pode sugerir diferentes graus de suscetibilidade a inundação quando acompanhadas de informações obtidas em campo, como cota de inundação recorrente. Tendo em vista as características fisiográficas da Bacia do Ribeirão dos Perus e os registros de inundações, foi definida a seguinte classificação de suscetibilidade a enchentes e inundações:

- Superfície com até 1 metro de altura: alta a muito alta suscetibilidade a inundação;
- Superfície com altura de 1 a 3 metros: baixa à média suscetibilidade a inundação.

Após a classificação das superfícies de inundação é feita a identificação das áreas potencialmente sujeitas a sofrerem danos relacionados a processos de enchentes e inundações (Áreas-Alvo), sobrepondo a camada de assentamentos precários no mapa de suscetibilidade a enchentes e inundações.

4. RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 2 apresenta o Mapa de Suscetibilidade a Enchente e Inundação da Bacia do Ribeirão dos Perus gerado pelo modelo HAND. A classificação das superfícies de inundação em duas classes: até 1 metro e de 1 a 3 metros, foram atribuídas após levantamento de informações de cotas de inundações em campo e sugerem diferentes graus de suscetibilidade a enchente e inundação, respectivamente, muito alta a alta e média a baixa.

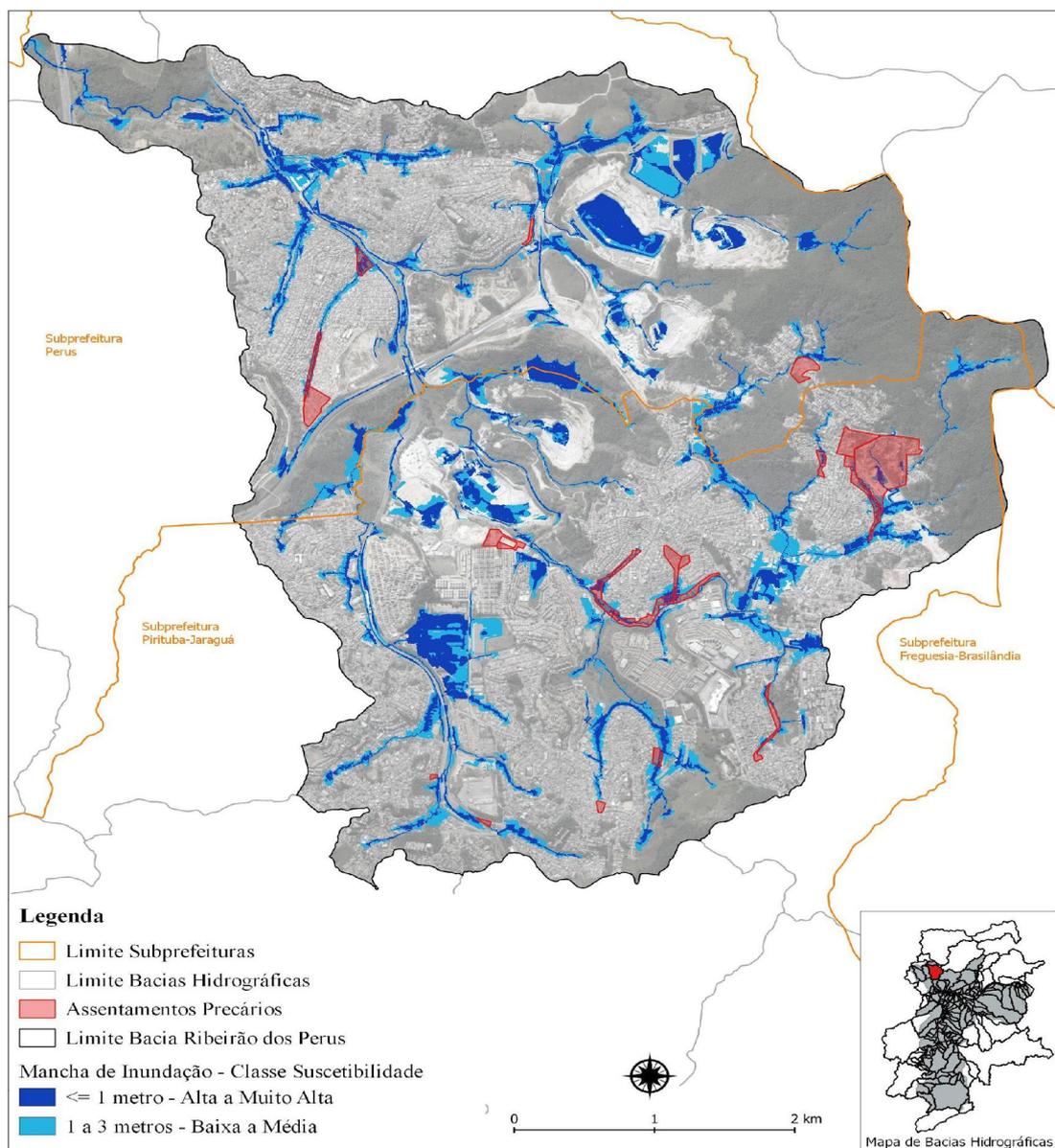


Figura 2. Mapa de Suscetibilidade a Enchente e Inundação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Perus, representada pela superfície de inundação e a localização dos assentamentos precários.

Foram identificados 20 assentamentos precários que interceptam as superfícies suscetíveis a inundação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Perus, e, portanto, consideradas áreas-alvo, pois são potencialmente sujeitas a sofrerem danos relacionados a processos de enchentes e inundações. As áreas identificadas estão situadas tanto nas margens dos cursos d'água principais da bacia, como nas margens das drenagens contribuintes.

Esse resultado permitiu identificar assentamentos precários prioritários, que serão alvo das campanhas de campo para o mapeamento de risco de enchentes e inundação em escala de detalhe na próxima etapa de trabalho.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados os métodos e os resultados obtidos na elaboração do mapa de suscetibilidade a enchente e inundação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Perus, através da modelagem hidrológica simplificada do modelo HAND.

Na Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Perus foram identificados 20 assentamentos precários potencialmente sujeitos a sofrerem danos relacionados a processos de enchentes e inundações. Tais assentamentos foram considerados áreas críticas que serão alvo de levantamento de dados de campo na próxima etapa do mapeamento.

Os resultados apresentados constituem a primeira etapa do projeto Mapeamento de Risco de Enchentes e Inundações em Assentamentos Precários na Cidade de São Paulo. Após aferição em campo das superfícies de inundação geradas pelo modelo HAND, considerou-se o método satisfatório para identificação de regiões suscetíveis a acúmulo de água. Ressalta-se que a escolha do limiar que melhor se ajusta às drenagens principais da bacia, na geração das drenagens por técnicas de geoprocessamento, é fundamental para a redução das interferências causadas pelos arruamentos em ambiente urbano.

No caso da cidade de São Paulo, e especificamente na Bacia do Ribeirão dos Perus, o limiar de 300.000 *pixels* foi o mais indicado para minimizar as interferências causadas pelo grau de urbanização existente. A Bacia do Ribeirão dos Perus está sendo estudada como um projeto piloto para aplicação do método em outras bacias hidrográficas urbanas. O mesmo procedimento será usado na geração de mapas de suscetibilidade a enchentes e inundações de outras bacias no município de São Paulo, que poderá contribuir para o aprimoramento da aplicação do método e na gestão de risco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a equipe da Coordenação Municipal de Defesa Civil (COMDEC) e das subprefeituras do Município de São Paulo, Geól^a. Camila Duellis Viana, Geól^o. Fábio Costa Bonfim, Geoc^a. Natália Leite de Moraes, Geól^a. Thais Trevisani Moura, Geól^a. Elizabete do Rocio Santos, Geól^o. José Fernando Pires dos Santos, bem como os colaboradores que não fazem mais parte da equipe, mas que contribuíram fundamentalmente com a viabilização do projeto, entre eles: Geóg^a. Amanda Mendes de Sousa, Geól^o. Ronaldo Malheiros Figueira, Estág. Geoc. Livia Daniele Alves Rocha, Estág. Geoc. Jéssica Maria de Lima, além da colaboração do laboratório SPAMLab do IEE-USP.

REFERÊNCIAS

BRASIL. (2007) Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Carvalho, C.S.; Macedo, E.S.; Ogura, A.T. (org). Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 175p.

DANTAS, C.G.; CANIL, K. (2017) Identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a inundação na bacia do Aricanduva - SP utilizando o algoritmo descritor de terreno HAND. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, p. 4046-4055.

MOMO, M.R.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D.L.; CUARTAS, L.A.; NOBRE, A.D. (2016) “Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 21, n .1, p. 200-208.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M. G.; RENNÓ, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. (2011) “*Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model.*” *Journal of Hydrology*, Vol. 404, n. 1, p. 13-29.

QGIS.org (2020) *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.org>.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. (2008) “*HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia.*” in *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, n. 9, p. 3469-3481.

SÃO PAULO (2019) Geosampa - Mapa digital da cidade de São Paulo. Disponível em <<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/SBC.aspx>> Acesso em outubro de 2020.

SULAIMAN, S.N.; JACOBI, P.R. (Orgs.). (2018) Melhor prevenir: olhares e saberes para a redução de risco de desastre. São Paulo: IEE-USP, 121p.