O MODELO HAND COMO FERRAMENTA DE MAPEAMENTO DE ÁREAS PROPENSAS A INUNDAR

Roberto Fabris Goerl[1]; Pedro Luiz Borges Chaffe[2]; Gustavo Andrei Speckhann[3]; Joel Robert Georges Marcel Pellerin[4]; Juan Antonio Altamirano Flores[5]; Janete Josina de Abreu[6]; Gerly Mattos Sanchez[7].*

Resumo – Inundações são processos naturais, que quando causam danos e prejuízos à sociedade são considerados desastres naturais. Dentre as medidas preventivas destaca-se pelo baixo custo o mapeamento de áreas propensas à inundação. Como alternativa aos tradicionais métodos de mapeamento, descritores de terreno com base em Modelos Digitais de Elevação podem ser utilizados. O presente trabalho testou o modelo HAND em municípios com diferentes condições topográficas. O município de Presidente Getúlio situa-se no Alto Vale do Itajaí e possui vales encaixados. O município de Araranguá situa-se no baixo vale do rio Araranguá e apresenta planícies de formação marinha, lagunar e fluvial. O HAND apresentou um bom desempenho em Presidente Getúlio, acertando, no melhor cenário, 96% dos locais propensos a inundar bem como 99% dos locais não propensos. Em Araranguá, ao acertar 98% dos locais propensos, houve um acerto de apenas 74% dos locais não propensos, superestimando em demasia os locais inundáveis. Dessa maneira, o presente trabalho buscou demonstrar que o HAND pode ser uma ferramenta eficiente para mapeamento de inundação, mas sua eficiência pode ser menor em relevos com topografias complexas.

Palavras-Chave – HAND, Mapeamento, Planície de Inundação.

THE HAND MODEL AS A TOOL FOR FLOOD PRONE AREA MAPPING

Abstract – Floods are natural processes, which when they cause losses and damage to society are considered natural disasters. Among the preventive measures the flood prone mapping stands out because of the low cost. As an alternative to traditional mapping methods, terrain descriptors based on Digital Elevation Models can be used. The present work tested the HAND model in municipalities with different topographic conditions. The municipality of Presidente Getúlio is located in the Upper Itajaí Valley and presents V-shaped valleys. The municipality of Araranguá is located in the low valley of the Araranguá basin and presents plains formed by marine, lagoon and fluvial processes. The HAND shows a good accuracy in Presidente Getúlio with 96% of the flood prone areas correctly predicted as well 99% of the non-floods prone locations. In Araranguá, in the best scenario there was an accuracy of 98% in predict the flood prone locations, and an accuracy of only 74% in predict the non-flood prone locations, overestimating the flood prone area. In this way, the present work sought to demonstrate that the HAND model can be a useful tool for flood mapping, but its efficiency could be smaller in reliefs with complex topographies.

Keywords – HAND, Mapping, Floodplain

[1] Docente do Departamento de Ciências Naturais e Sociais – Universidade Federal de Santa Catarina;*roberto.f.goerl@ufsc.br
[2] Docente do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina; pedro.chaffe@ufsc.br
[3] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina; gustavospeck@gmail.com
[4] Docente do Departamento de Geociências – Universidade Federal de Santa Catarina: pellerin@cfh.ufsc.br
[5] Docente do Departamento de Geociências – Universidade Federal de Santa Catarina: juan.flores@ufsc.br
[6] Docente do Departamento de Geociências – Universidade Federal de Santa Catarina: janete.abreu@ufsc.br
[7] Bolsista Projeto UFSC/Ministério das Cidades – Universidade Federal de Santa Catarina: gerlysanchez@gmail.com

INTRODUÇÃO

Inundações são processos naturais inerentes da dinâmica fluvial. Ao longo da história humana este processo contribuiu para o nascimento e desenvolvimento de diversas civilizações, como as que se instalaram ao longo dos rios Nilo, Eufrates, Tigre e Indo, utilizando-os como fonte de água e alimentos, transporte e rotas para comércio (Macklin e Lewin, 2015). A história demonstra que as inundações têm influencia tanto positiva como negativa na sociedade. Os desastres hidrológicos são um exemplo da influência negativa. Entre 1900 e 2016, as inundações afetaram 3,6 bilhões de pessoas, ocasionando a morte de aproximadamente 7 milhões (EM-DAT, 2017).

O crescimento populacional dos últimos anos tem aumentado, em escala global, o número de pessoas expostas aos fenômenos naturais extremos. Há uma forte correlação entre o crescimento populacional e o aumento do número de desastres naturais (Goerl e Kobiyama, 2013). Historicamente a sociedade se instalou próxima aos rios, e ali permanece e continua a se desenvolver. Assim, evitar totalmente que um desastre hidrológico ocorra é uma difícil tarefa, devendo ser tomadas medidas preventivas e mitigadoras. Estas medidas podem ser classificadas em estruturais (obras) e não estruturais (mapeamento, sistema de alerta, e educação ambiental). As não estruturais se destacam pelo baixo custo e relativa fácil implementação (Kobiyama *et al*., 2006).

Dentre tais medidas não estruturais, o mapeamento de áreas propensas aos perigos naturais é uma das ferramentas mais viável, pois pode ser implementado em municípios com poucos recursos (Shidawara, 1999) e visam suprir uma das maiores deficiências relacionadas aos desastres hidrológicos no Brasil, que é a falta de sistemas de alerta em escala local (Kobiyama *et al*., 2006, Kobiyama e Goerl, 2007).

Como alternativa aos tradicionais métodos de mapeamento (modelos hidrológicos-hidrodinâmicos), descritores do terreno com base em atributos morfométricos têm sido utilizados para determinar áreas susceptíveis à inundação. Estes descritores podem ser definidos como atributos hidrogeomorfológicos extraídos diretamente do Modelo Digital de Elevação (MDE) que podem possuir correlação espacial com áreas propensas a inundação. Como exemplo, cita-se o Índice Topográfico, proposto por Beven e Kirkby (1979), que foi adaptado por Manfreda *et al.*. (2011) para elaborar mapas de susceptibilidade. Devido a maior disponibilidade de dados topográficos e em melhores escalas, há uma maior utilização destas novas técnicas para mapeamento, utilizando como principal dado de entrada o MDE (Degiorgis *et al*., 2012; Jalayer *et al*., 2014; Pourali *et al*., 2014; Elshorbagy *et al.*, 2017)

O Height Above the Nearest Drainage (HAND) é um descriptor proposto por Rennó *et al.* (2008) e Nobre *et al*. (2011), que já foi utilizado para elaborar mapas de susceptibilidade a inundação por, Speckhann *et al.* (2017), Nobre *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2013). Contudo, ainda não se sabe qual a eficiência do HAND em relação a diferentes condições topográficas. Neste contexto o presente trabalho aplicou o modelo HAND em municípios que apresentam diferentes características topográficas no seu território e comparou os resultados com o mapeamento da planície de inundação.

MATERIAIS E MÉTODOS.

Área de Estudo.

O presente estudo foi desenvolvido em dois diferentes municípios, um da bacia do rio Itajaí-Açu, localizado no alto curso da bacia sem influência marítima e um da bacia do rio Araranguá, localizado em um ambiente com influência marinha e lagunar. No município de Araranguá encontram-se os seguintes compartimentos geomorfológicos: Embasamento Cristalino, Lagunar,

Eólico e Praial (SANTA CATARINA, 2010). Já Presidente Getúlio está inserido no Geossitema Alto Vale do Rio Itajaí, o qual apresenta relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso, fazendo parte do 2° Patamar do Alto Vale do Itajaí (Ad-Víncula Veado e Troppmair, 2001). Esses municípios apresentam diferentes configurações topográficas. Em Araranguá há uma extensa planície associada aos processos fluvio-marinhos e lagunares, com maior predominância de processos de acumulação de sedimentos, enquanto que em Presidente Getúlio há vales encaixados, evidenciando processo denudacional de origem fluvial (Figura 1).

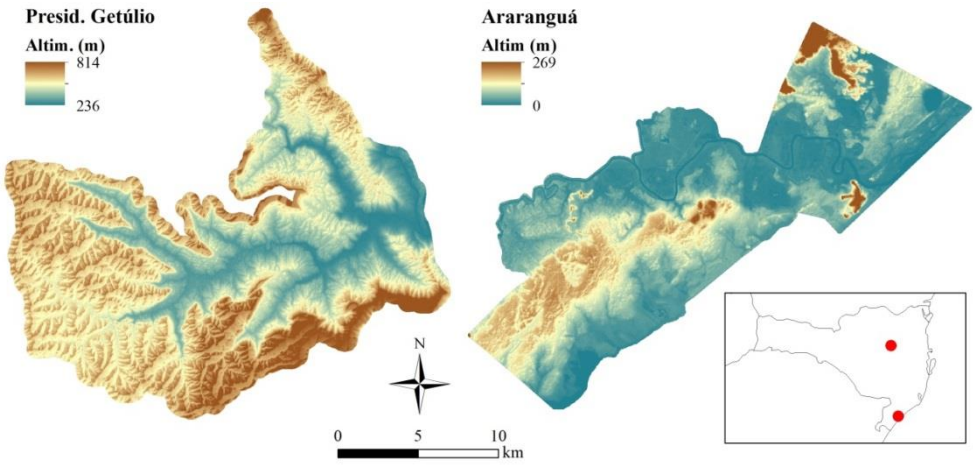

Figura 1 – Localização e altimetria dos municípios de Presidente Getúlio e Araranguá.

Modelo HAND.

O HAND normaliza o MDE com base na diferença entre a altitude do terreno e a altitude da rede de drenagem mais próxima. Assim como qualquer outra característica hidrogeomorfológica obtida pela topografia os resultados do HAND estão condicionados pela qualidade e resolução do MDE (Zhang e Montgomery, 1994).

Dentro do modelo HAND, a primeira etapa é a correção hidrológica do MDE, eliminando os *sinks* (Figura 2a), para garantir a propagação do fluxo em todas as células do MDE (Figura 2b). Posteriormente, a direção e a área de acumulação de fluxo de cada célula são determinadas. Estabelecendo um limiar mínimo para iniciar um canal (Montgomery e Dietrich, 1988), a rede de drenagem é extraída do MDE (Figura 2c). Quanto menor o limiar, maior a densidade de drenagem. A segunda etapa do modelo HAND é a normalização da altimetria com base nas cotas da drenagem. Assim, o MDE é reclassificado com base na diferença entre a cota do canal mais próximo e as cotas da planície de inundação e/ou das encostas adjacentes a este canal (Figura 2d). No presente trabalho foi utilizada a versão do HAND implementada no software TerraHidro.

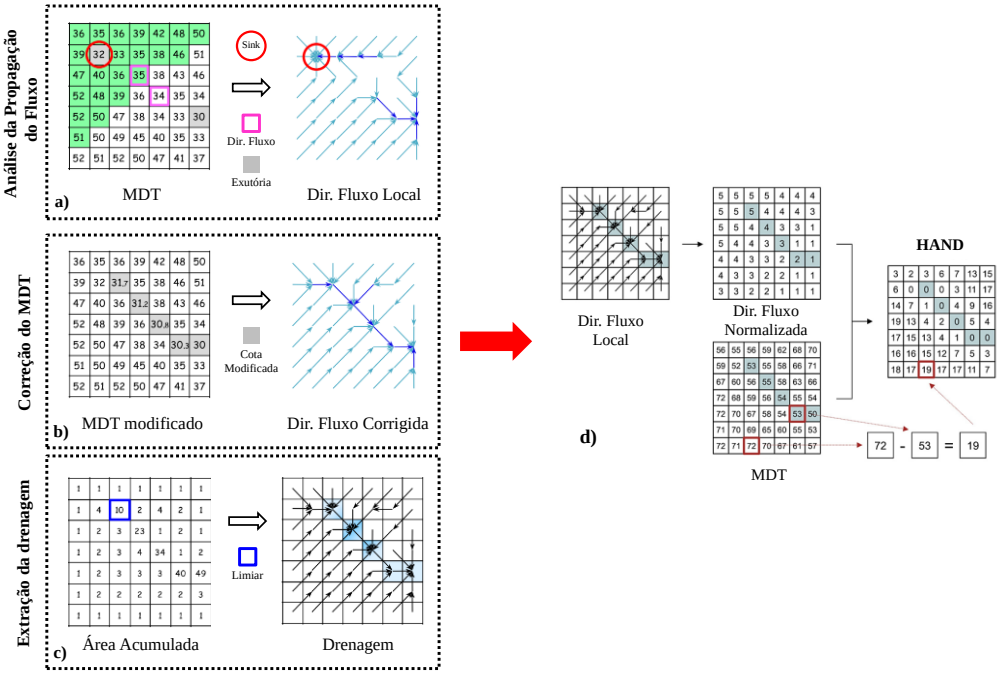

Figura 2 - Etapas do HAND no TerraHidro: (a) consistência hidrológica; (b) determinação da direção de fluxo; (c) extração da rede de drenagem e d) Normalização do MDE.
(Fonte: Rennó *et al*., 2008; Nobre *et al.*, 2011).

Mapeamento de Inundação.

O HAND cria uma superfície normalizada em relação à drenagem mais próxima. Assim há a necessidade de dados de campo para estabelecer as classes de fatiamento ou utilizar a análise de distribuições e referenciar os valores do HAND aos valores de uma estação de monitoramento, como o método f2hand (Speckhann *et al.*, 2017). Contudo, nem todos os municípios possuem manchas de inundação e estações de monitoramento. Uma alternativa é o uso da planície de inundação para a validação dos resultados da modelagem, ou seja, aplicar o que Lastra *et al.* (2008) chamaram de método hidrogeomorfológico. Este método utiliza tanto informações geológico-geomorfológicas como hidráulico-hidrológicas para elaborar o mapeamento. No presente trabalho pela ausência de manchas de inundação e de dados hidrológicos em ambos os municípios, a planície de inundação foi considerada como área propensa a inundar.

O MDE utilizado foi disponibilizado pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina, por meio do portal SIGSC (http://sigsc.sds.sc.gov.br/), com resolução de 1m. O mesmo foi reamostrado para 2,5m utilizando o método de interpolação bilinear que toma por base os valores dos quatro vizinhos mais próximos ao centro do novo pixel. Para gerar a rede de drenagem foi utilizada uma área de contribuição de 312,5 km^2, aproximadamente a área total do município, com base na hipótese que a planície de inundação é principal local de extravasamento das águas do canal durante a ocorrência da inundação e a mesma se localiza no baixo curso do rio, próximo ao limite do município. Outra justificativa para o uso deste valor é que quanto menor a área de contribuição, maior seriam as áreas consideradas inundáveis próximas às cabeceiras.

Além da área de contribuição, outro ponto chave do HAND é o intervalo de fatiamento dos seus valores. Por meio de álgebra de mapas foi extraído a média dos valores do HAND na planície de inundação. Em Araranguá este valor é 2 m e em Presidente Getúlio é 11,42 m. Para analisar a eficiência do HAND nos diferentes municípios os valores foram variados de 1 m até 6 m em Araranguá, em intervalos de 1m, e de 10 m a 20 m, em intervalos de 2 m em Presidente Getúlio. Os

valores máximos foram obtidos com base na análise visual, ou seja, em qual valor do HAND a maior parte ou a totalidade da planície de inundação é classificada como área de inundação.

A validação dos resultados foi feita com base no método proposto por Elshorbagy *et al.* (2017), o qual denominou de sensibilidade (S) os acertos do mapeamento em relação a área inundada e especificidade (E) os acertos do mapeamento em relação a área não inundada. Dessa maneira, onde o HAND estabelece que inunda e realmente inunda é dado por *S*, e onde o HAND estabelece que não inunda e realmente não inunda é dado por *E*. Quanto mais próximo de 1 os valores de *S* e *E*, melhor o acerto do modelo.

$$S = \frac{AP_c}{AI_t} \quad (1)$$

$$E = \frac{AN_i}{AN_i + A_{sup}} \quad (2)$$

onde AP_c é a área inundável predita correta, AI_t é a área de inundação total mapeada (planície de inundação), AN_i é área não inundável predita corretamente, e A_{sup} é a área superestimada

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na análise de Sensibilidade e Especificidade do modelo HAND, observa-se que em Araranguá, o modelo subestima as áreas propensas a inundar, mas em contrapartida acerta em grande parte as áreas que não inundam. Com o aumento do limiar de fatiamento, nota-se que o HAND acerta bastante os locais que inundam, mas perde a sua eficiência em mapear áreas que não inundam, ou seja, começa a superestimar demasiadamente os locais de inundação. Em Presidente Getúlio, os valores menores do HAND também apresentam tendência semelhante, subestimando os locais de inundação e acertando os locais que não inundam. Com o aumento do valor do fatiamento, a eficiência do HAND em acertar os locais que inundam aumenta, sem, contudo perder a eficiência em acertar os locais que não inundam (Tabela 1). Nota-se assim (Figura 3) que há um limiar de eficiência para o município de Araranguá, que não foi observado de maneira tão evidente para Presidente Getúlio. Em Presidente Getúlio, com uma eficiência de 95% do HAND no mapeamento das áreas inundáveis, há uma eficiência de 99% para as áreas não inundáveis.

Tabela 1 – Sensibilidade e Especificidade para diferentes valores de limiar do HAND

Araranguá			**Presidente Getúlio**		
Limiar HAND	*Sensibilidade*	*Especificidade*	*Limiar HAND*	*Sensibilidade*	*Especificidade*
1m	0,190	0,958	10m	0,250	0,999
2m	0,517	0,928	12m	0,372	0,999
3m	0,827	0,889	14m	0,583	0,997
4m	0,940	0,834	16m	0,766	0,995
5m	0,976	0,787	18m	0,890	0,993
6m	0,987	0,743	20m	0,959	0,990

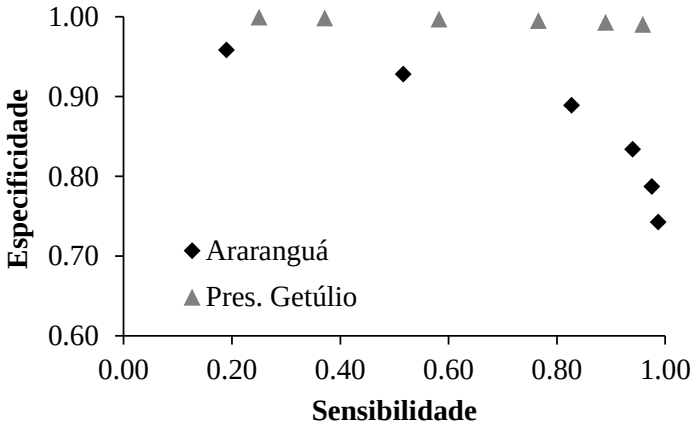

Figura 3 – Relação entre Especificidade e Sensibilidade do método.

Os acertos e erros do HAND nos diferentes municípios podem ser explicados pela configuração topográfica. Devido aos vales encaixados, não se espera um aumento substancial da área de inundação determinada pelo HAND com o aumento do limiar de fatiamento (Figuras 4a e 4b). Este aumento poderia ocorrer com a diminuição da área de contribuição. Em planícies mais largas e com topografias mais complexas, há o aumento das áreas consideradas como inundação fora da planície (Figura 4c e 4d).

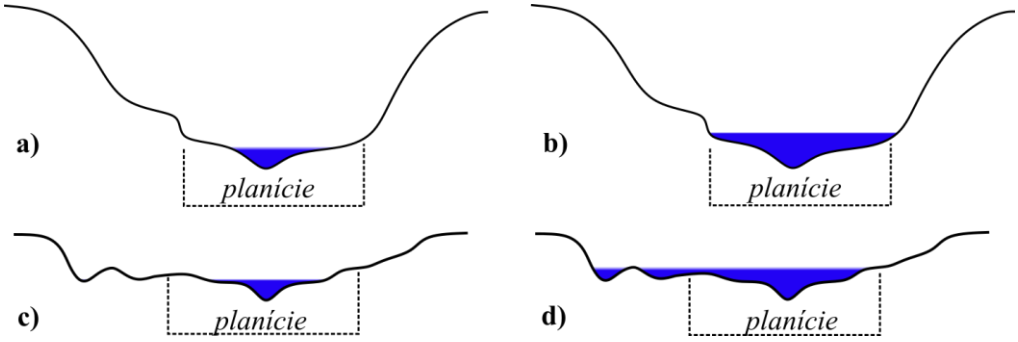

Figura 4 – Variação da mancha de inundação com relação às características topográficas.

Mesmo com o aumento do limiar de fatiamento, as áreas superestimadas (vermelho), ficaram concentradas nas adjacências dos vales principais e da planície de inundação (Figura 5). Em contrapartida, em um relevo com a topografia mais complexa, com múltiplos agentes formadores (e.g. marinho, lagunar), há o aumento da área superestimada fora da planície de inundação, como foi observado em Araranguá (Figura 6).

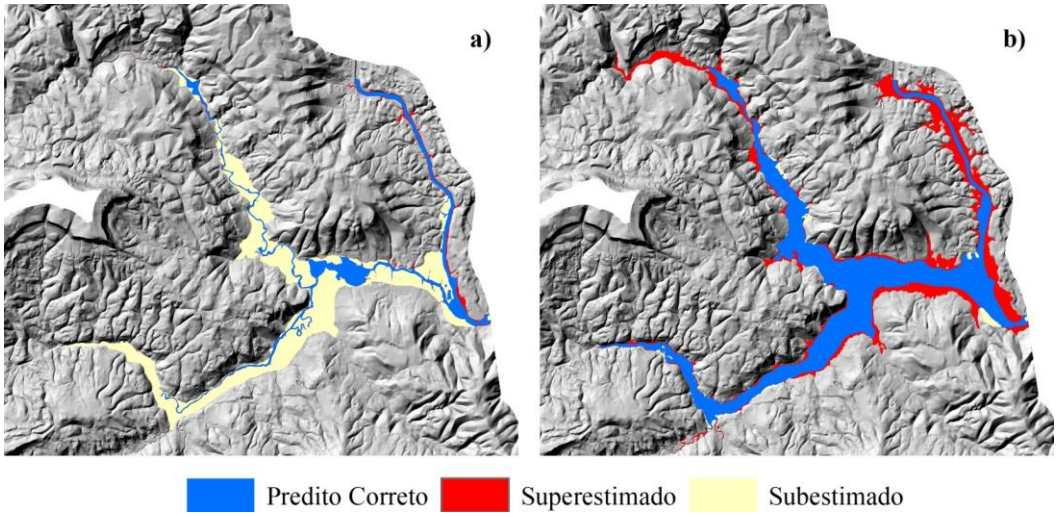

Figura 5 – Comparação das áreas preditas pelo HAND em Presidente Getúlio para os limiares de: a) 10m e b) 20m.

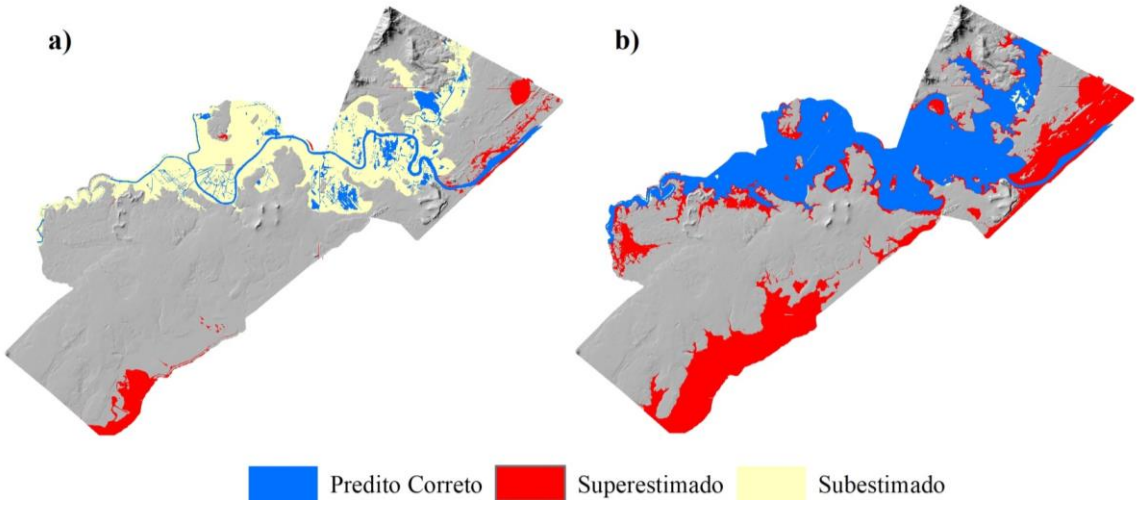

Figura 6 – Comparação das áreas preditas pelo HAND em Araranguá para limiares de: a) 1m; e b) 6m.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho testou a eficiência do modelo HAND em predizer áreas propensas a inundar em municípios com diferentes condições topográficas. Presidente Getúlio situa-se no Alto Vale do Itajaí e apresenta vales encaixados, formados predominantemente por dissecação fluvial. Araranguá situa-se no baixo vale do rio Araranguá e apresenta vales menos encaixados e extensas planícies formadas tanto por processos marinhos, fluviais e lagunares. Estas duas configurações de relevo resultaram em diferentes eficiências do HAND. Em presidente Getúlio o HAND teve um bom desempenho tanto em acertar as áreas propensas a inundar como as áreas não inundáveis. Já em Araranguá, o acerto das áreas propensas resultou em uma superestimava dos locais não inundáveis. Além disso, a eficiência variou em relação ao limiar adotado. Isso se refletiu nos valores de sensibilidade e especificidade do HAND. Dessa maneira, o HAND se mostrou mais eficiente em relevo com vales encaixados, acertando as áreas propensas a inundar sem superestimar demasiadamente os locais não inundáveis.

REFERÊNCIAS

AD-VINCOLA VEADO, R. W.; TROPPMAIR, H. 2001. Geossistemas do Estado de Santa Catarina. In: Teoria, Técnicas, Espaços e Atividades: temas de Geografia contemporânea. GERARDI, L. H. O. & MENDES, I. A. (org). Rio Claro: UNESP-AGETEO.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), pp. 43-69.

DEGIORGIS, M.; GNECCO, G.; GORNI, S.; ROTH, G.; SANGUINETI, M. & TARAMASSO, A.C. (2012) Classifiers for the detection of flood-prone areas using remote sensed elevation data. *Journal of Hydrology* 470-471, pp.302-315

ELSHORBAGY, A.; BHARATH, R.; LAKHANPAL, A.; CEOLA, S.; MONTANARI, A.; LINDENSCHMIDT, K. E. (2017). Topography-and nightlight-based national flood risk assessment in Canada. *Hydrology and Earth System Sciences*, *21*(4), 2219-2232.

EM-DAT. Banco Internacional de Desastres. 2017. Disponível em: <http://www.emdat.be/>. Acesso em: 04 mar. 2017 GOERL, R; KOBIYAMA, M. (2013). Redução dos desastres naturais: desafio dos geógrafos. *Ambiência (Online)* 9, pp. 145-172.

JALAYER, F.; RISI, R.; PAOLA, F.; GIUGNI, M.; MANFREDI, G.; GASPARINI, P.; TOPA, M.E.; YONAS, N.; YESHITELA, K.; NEBEBE, A.; CAVAN, G.; LINDLEY, S.; PRINTZ, A.; RENNER, F. (2014). Probabilistic GIS-based method for delineation of urban flooding risk hotspots. *Natural Hazards*, 73(2), pp. 975-1001.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. (2007). Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters. *SUISUI Hydrological Research Letters* 1, pp.11-14.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.; RUDORFF, F. Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.

LASTRA, J.; FERNÁNDEZ, E.; DÍEZ-HERRERO, A.; MARQUÍNEZ, J. (2008). Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula. *Natural Hazards*, 45(2), pp. 277-293.

MACKLIN, M.G.; LEWIN, J. (2015) The rivers of civilization. *Quaternary Science Reviews*, 114, pp. 228-244.

MANFREDA, S.; DI LEO, M.; SOLE, A. (2011). Detection of Flood-Prone Areas Using Digital Elevation Models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(10), pp. 781-790.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. (1988). Where do channels begin? *Nature*, 336(6196), pp. 232-234.

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*, 404(1), pp. 13-29.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R.; SEVERO, D. L.; PINHEIRO, A.; NOBRE, C. A. (2016). HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. *Hydrological Processes*, 30(2), pp. 320-333.

POURALI, S. H.; ARROWSMITH, C.; CHRISMAN, N.; MATKAN, A. A.; MITCHELL, D. (2014). Topography wetness index application in flood-risk-based land use planning. *Applied Spatial Analysis and Policy* 9(1), pp. 39-54.

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. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), pp. 3469-3481.

SANTA CATARINA (2010). *Implantação do plano estadual de gerenciamento costeiro: Fase I – 1. Diagnóstico Sócio Ambiental Setor Litoral Sul*. SGP/SC, 393 p.

SHIDAWARA. M. (1999). Flood hazard map distribution. *Urban Water* 1(2), pp.125-129.

SILVA, W. F.; MOLLERI, G. S. F.; PINTO, M. B. P, ARAÚJO JUNIOR, G. J. L. D. (2013). Análise do modelo HAND para a indicação de áreas suscetíveis a eventos críticos de cheias. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. São José dos Campos: Inpe. 2013 pp. 7001-7008,

SPECKHANN, G. A.; CHAFFE, P. L. B.; GOERL, R. F.; ABREU, J. J.; FLORES, J. A. A, (2017). Flood hazard mapping in Southern Brazil: a combination of flow frequency analysis and HAND Model. Accepted manuscript at Hydrological Science Journal, pp.1-21

ZHANG, W.; MONTGOMERY, D. R. (1994) Digital elevation model grid size, landscape representation and hydrologic simulation. *Water Resources Research* 30(4), pp.1019-1028.