UMA PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE RISCO DE INUNDAÇÃO UTILIZANDO FEIÇÕES MORFOMÉTRICAS, LUZES NOTURNAS E INFORMAÇÕES CENSITÁRIAS.

Gustavo Andrei Speckhann [1] & Pedro Luiz Borges Chaffe [2] & Roberto Fabris Goerl [3] & Daniel Bartiko[4]*

Resumo – O risco associado às inundações inevitavelmente ameaça o desenvolvimento seguro e sustentável de uma sociedade. Modelos hidrodinâmicos têm sido utilizados no mapeamento de inundação, no entanto, alternativas simplificadas baseadas na utilização de descritores morfométricos são uma opção na identificação de áreas suscetíveis a inundação. O município de Blumenau possui um histórico recente de danos e perdas relacionados à inundação. O objetivo deste trabalho foi avaliar o risco de inundações na cidade de Blumenau. Para tanto, utilizou-se uma combinação de probabilidade de ocorrência de inundação, feições morfométricas, distribuição populacional e luzes noturnas. Foram analisadas quatro feições morfométricas distintas: Declividade, Curvatura, Distância para a Rede de Drenagem mais Próxima e Altura para a Rede de Drenagem mais Próxima (HAND). Dentre as feições morfométricas pode-se destacar a capacidade do HAND em mapear e prever manchas de inundação. Os resultados das feições morfométricas foram expressos em Receiver Operating Curves (ROC), onde apenas a Curvatura não apresentou resultado satisfatório. O mapeamento de risco à inundação foi realizado utilizando a feição morfométrica HAND e o resultado apontou que grande parte das áreas centrais do município foi classificada como alto risco (44%) e apenas 6% como baixo risco.

Palavras-Chave – Mapeamento de risco, descritor morfométrico, inundação

A FLOOD RISK MAPPING PROPOSAL USING MORPHOMETRIC FEATURES, NIGHTLIGHTS AND CENSUS INFORMATION.

Abstract –
Flood risk inevitably threatens the safe and sustainable development of society. Simplified alternatives based on the use of morphometric features have emerged as an option for identification of flood prone areas. The municipality of Blumenau has a recent history of damages and losses related to the flood. The objective of this study was to evaluate the flood risk at the city of Blumenau. We used a combination of probability of flood occurrence, morphometric features, population distribution, and nightlights were used. In this work four different morphometric features were analyzed: Slope, Curvature, Distance to the Nearest Drainage, and Height Above the Nearest Drainage (HAND). Among these morphometric features, it is possible to highlight HAND's ability to map and predict flood extents. The results of the morphometric features were expressed in Receiver Operating Curves (ROC), where only Curvature did not present satisfactory results. The flood risk mapping was performed using the HAND morphometric feature and the results showed that most of Blumenau's central areas were classified as high risk (44%) and only 6% as low risk.

Keywords – Flood, risk map, morphometric features, floods

[1] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina; *gustavospeck@gmail.com
[2] Docente do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina; pedro.chaffe@ufsc.br
[3] Docente do Departamento de Ciências Sociais e Naturais– Universidade Federal de Santa Catarina; roberto.f.goerl@ufsc.br
[4] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina; danielbartiko@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O risco associado às inundações inevitavelmente ameaça o desenvolvimento sustentável seguro de uma sociedade (Jongman *et al.* 2013). Eventos hidrológicos extremos têm aumentado nas últimas décadas (Hall *et al.* 2014; Blöschl *et al.* 2015). Registros ao redor do globo indicam uma significativa heterogeneidade espacial, e os processos associados às inundações não estão plenamente compreendidos, especialmente sob condições de precipitações extremas (Rogger *et al.* 2012).

Modelos hidrodinâmicos têm sido aplicados no mapeamento de inundação, no entanto, a quantidade e a exigência de muitos dados (e.g. seções, hidrogramas, n° de Manning) podem ser um entrave para a aplicação. A demanda computacional elevada dos modelos hidrodinâmicos também representa um gargalo nas aplicações em tempo real (e.g. monitoramento de inundações e emissão de alertas). Alternativas empregando feições geomorfológicas baseadas no modelo digital de elevação (MDE) tem se destacado como uma ferramenta de baixa demanda computacional e com capacidade de representar de modo muito realista a extensão e o alcance dos fenômenos de inundação (Manfreda *et al.* 2014; Nobre et al. 2015; Speckhann *et al*. 2017).

A população residente na bacia do rio Itajaí, tem sofrido com as fortes inundações desde os primeiros colonizadores - e.g. 1852 (Frank e Pinheiro, 2003). Os valores despendidos entre 1990-2011 são superiores a 3 trilhões de reais (Hermann, 2015), sendo estimado que as inundações, nesse mesmo período, foram responsáveis pela morte de 38 pessoas.

A vulnerabilidade da localidade pode ser um fator significativo na redução do risco. Estudos abordam a presença de estruturas de contenção de cheias como um fator binário (1- presença; 0 – ausência) (Elshorbagy *et al*, 2017). De modo a verificar a redução da vulnerabilidade seria importante analisá-la não como "presença" versus "ausência", mas associá-la ao nível de água que a mesma poderia segurar.

Existe um espectro amplo de definições e conceitos sobre risco, perigo, vulnerabilidade e exposição à inundações. O mapeamento de perigo de inundação refere-se a probabilidade – comumente associada ao tempo de retorno da cota/vazão, de um determinado evento ocorrer. A vulnerabilidade está relacionada com a capacidade da sociedade em lidar com o evento inundação, e a exposição está associada com o potencial de prejuízos econômicos.

No entanto, é importante considerar informações relativas à distribuição espacial da população e ao dano/prejuízo que as inundações podem acarretar. O objetivo deste trabalho foi avaliar o risco de inundações na cidade de Blumenau, considerando uma combinação de probabilidade de ocorrência de inundação, feições morfométricas, distribuição populacional e luzes noturnas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia do Rio Itajai está localizada no Estado de Santa Catarina e possui uma área de 15000 km². A precipitação média anual é de 1610 mm, com a existência de duas estações; uma estação chuvosa durante o verão; e uma estação um pouco mais seca durante os meses entre Abril e Setembro -inverno (Nery *et al.* 2000). As precipitações extremas são a principal forçante dos eventos de inundação na bacia. O sistema de contenção de cheia para a bacia do rio Itajaí Açu conta com 3 barragens (Oeste, Sul e Norte), as quais foram concluídas em 1973, 1975 e 1992 (Abers 2007). A população da macrorregião do Vale do Rio Itajaí é de aproximadamente 807 mil habitantes, com uma densidade demográfica de 71.8 habitantes/km².

O município de Blumenau se caracteriza historicamente pela colonização ao entorno do rio Itajai e pela ocupação das encostas e morros para moradia e agricultura. O município de Blumenau é

o mais populoso, com 320 mil habitantes e uma área de aproximada de 520 km² (IBGE, 2010), destacando-se por ser uma das localidades mais afetadas durante os eventos extremos de 2008.

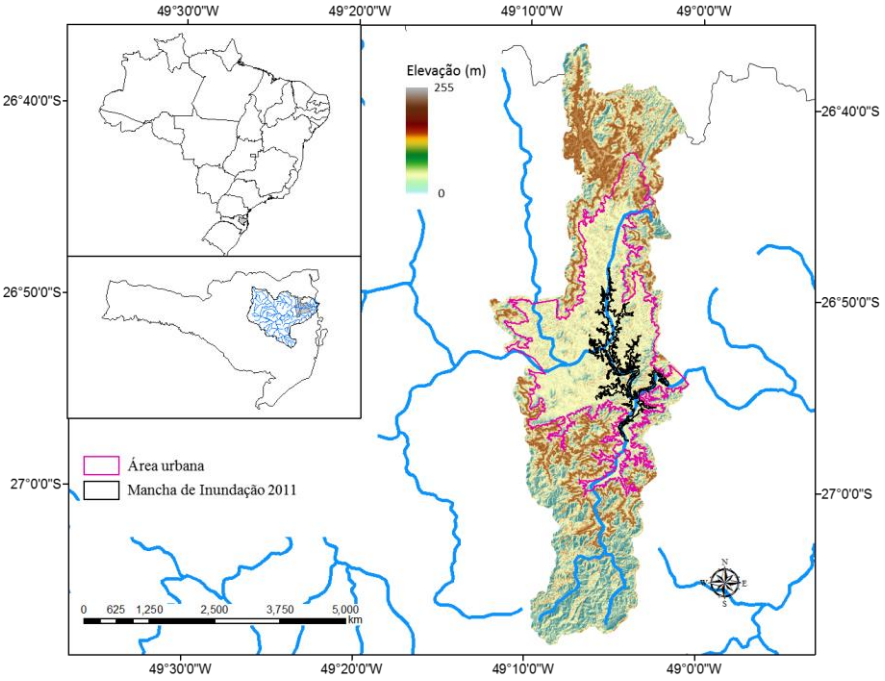

Figura 1 - Mapa de localização Blumenau.

Dados utilizados

O Modelo Digital de Elevação (MDT) foi obtido do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (http://www.dsr.inpe.br/topodata/), os quais foram extraídos da base de STRM 3 arco-segundos. Após a identificação e o preenchimento das falhas, o MDE foi reinterpolado para 1 arco-segundo e disponibilizado com diferentes características morfométricas (e.g. declividade, relevo sombreado).

As luzes noturnas são um produto capturado pela *US Air Force Weather Agency*, disponível gratuitamente (http://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html). A intensidade luminosa (ND) pode assumir valores de zero a 63 (adimensional). Os valores são calculados utilizando imagens de satélite são submetidas a um conjunto de critérios para o aceite das imagens levantadas e.g. ausência de nuvens, distinção de luminosidade de incêndios, e o cálculo dos valores de intensidade luminosa (ND).

Tabela 1 – Dados levantados, tipo, resolução.

Dados utilizados	Tipo	Fonte
MDE Topo Data	raster 1 arco-segundo reinterpolado	INPE
Luzes Noturnas	raster 3 arco-segundo	NASA
Mancha de Inundação Blumenau 2011	shape	Defesa Civil Municipal
Informações censitária	shape	IBGE 2010

No município de Blumenau manchas de inundação foram levantadas por Refosco *et al.* (2013), sendo coletados mais de 330 pontos de GPS. Neste trabalho a mancha de 13 metros foi utilizada para avaliar a performance dos modelos para os diferentes descritores morfométricos.

Os dados populacionais foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, censo 2010, o qual apresenta informações relacionadas a disposição populacional nos municípios brasileiros (IBGE 2010).

Mapeamento de Risco de Inundação

Assumindo a definição de risco elaborada pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2012), o risco relacionado às inundações é a combinação do perigo, exposição e vulnerabilidade. O mapaemento de risco à inundação neste trabalho (Equação 1) foi elaborado atribuindo diferentes classes (alta, média e baixa) para três informações distintas (1-perigo de inundação – f2HAND, 2-distribuição populacional, e 3- intensidade de luzes noturnas) combinadas por meio de operações matriciais.

$$\text{Risco} = \text{Perigo} + \text{Distribuição Populacional} + \text{Intensidade de Luzes Noturnas} \quad (1)$$

Perigo à inundação

O perigo a inundação é o potencial asssociado a ocorrência do fenômeno de inundação em si (e.g. profundidade e a mancha de inundação). Neste estudo, foram testados quatro descritores morfométricos: i) declividade; ii) distância para a rede de drenagem mais próxima; iii) altura para a rede de drenagem mais próxima; e iv) curvatura para o município de Blumenau. Todas as feições foram calculadas utilizando MDE de 1 arco-segundo reinterpolado.

O desempenho de cada feição morfométrica foi comparado com a mancha de inundação (13m) representativa do evento de inundação de 2011 em Blumenau. A análise foi realizada por meio de uma soma de *rasters* entre o resultado da feição morfométrica e a mancha de inundação de Blumenau. O desempenho de cada feição morfométrica foi representado pelas *Receiver Operating Characteristics* (ROC), a qual expressa o comportamento da feição morfométrica (e.g. declividade) em relação a mancha de inundação. As ROC's relacionam a taxa de falsos positivos com a taxa de acerto do modelo.

O descritor morfométrico Altura para a Rede de Drenagem mais Próxima (HAND – Rennó *et al.* 2008; Nobre *et al. 2013*), foi o escolhido para elaborar o mapa de perigo à inundação combinando a altura para a drenagem mais próxima com a probabilidade de ocorrência (tempo de retorno) das vazões máximas de Blumenau utilizando a metodologia proposta por Speckhann *et al*. (2017) – f2HAND.

A classificação do mapa de perigo de inundação foi elaborada utilizando os critérios da Tabela 2. Para o cálculo dos tempos de retorno foram analisados os dados de cota da estação Blumenau (83800002), utilizando os valores da distribuição de Gumbel.

Tabela 2 - classificação de susceptibilidade de acordo com tempo de retorno.

Tempo de Retorno (TR)	Classe	Nro de Indivíduos (hab)	Classe	Luzes Noturnas (ND)	Classe	Categoria
TR > 25	1	hab <10	1	ND < 10	1	Baixo
5 < TR < 25	2	10 < hab < 60	2	10 > ND > 30	2	Médio
TR < 5	3	hab > 60	3	ND 6	3	Alto

Exposição: Dados censitários e Luzes Noturnas

O levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística no ano de 2010, informa a quantidade de pessoas residentes em determinado município e a distribuição espacial da população no município (IBGE 2010). Os dados populacionais do município de Blumenau foram também classificados em três categorias (Tabela 2).

A exposição está associada aos valores econômicos presentes no local - e.g. número de habitantes e valores das moradias (IPCC 2012). Na identificação do grau de exposição de uma determinada área, um aumento na intensidade das luzes noturnas representa um aumento nos prejuízos financeiros com as inundações (Ceola *et al.* 2014). A faixa de valores utilizadas na classificação (Tabela 2) foi baseada em valores aplicados em estudos de inundação, sendo classificados em três categorias (alta, média e baixa) de intensidade luminosa proposto por Elshorbagy *et al.* (2017).

Vulnerabilidade

Vulnerabilidade de uma localidade é a capacidade da sociedade em lidar/reagir com a inundação, onde a presença de medidas preventivas e mitigadoras podem ser contabilizadas (e.g. presença de Barragens de contenção). Na área proposta (escala em nível de município) não foram levados em consideração as 3 barragens (Norte, Oeste e Sul) localizadas à montante de Blumenau. Para este estudo, o conjunto de barragens é visto como um mecanismo em nível de bacia, não sendo uma medida exclusivamente construída para retardar os efeitos no município de Blumenau.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível visualizar que a maior parte das altas concentrações populacionais estão associadas aos valores elevados de intenisidade luminosa (Figura 2). A alta intesidade luminosa (Figura 2-c em vermelho e Figura 4-c) ocorre majoritariamente dentro da delimitação da área urbana do município de Blumenau.

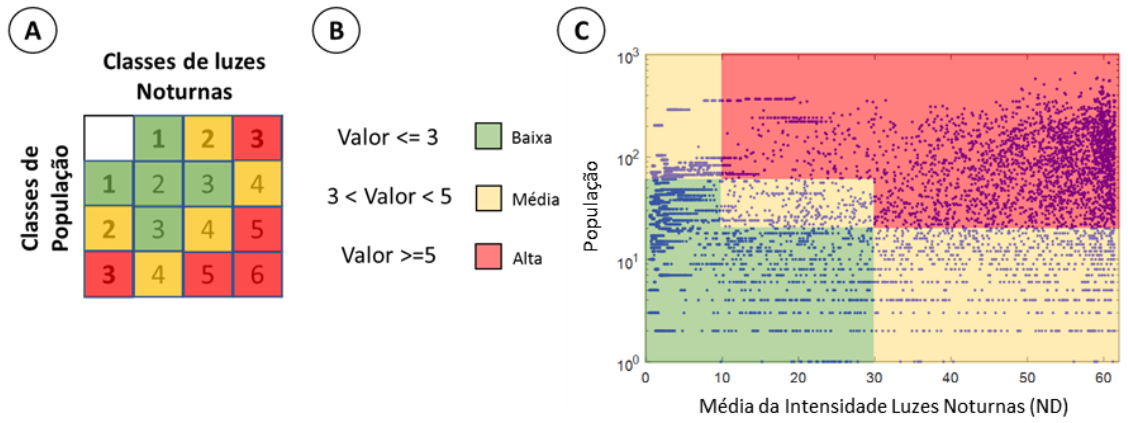

Figura 2 – Classificação da suscetibilidade entre categorias. a) Matriz de classificação, b) faixa de valores, c) Scatterplot entre intensidade luminosa e número de habitantes.

As características morfométricas (declividade, distância para a drenagem mais próxima e altura para a drenagem mais próxima) apresentaram comportamento muito similar em comparação com a mancha de inundação de 13m do município de Blumenau (Figura 3). A utilização de um MDE de maior resolução pode acarretar em uma melhor performance (Speckhann *et al.* 2017). No entanto,

para a aplicabilidade em escala de municipio, a utilização de um MDE com maior resolução demandaria uma capacidade maior de processamento.

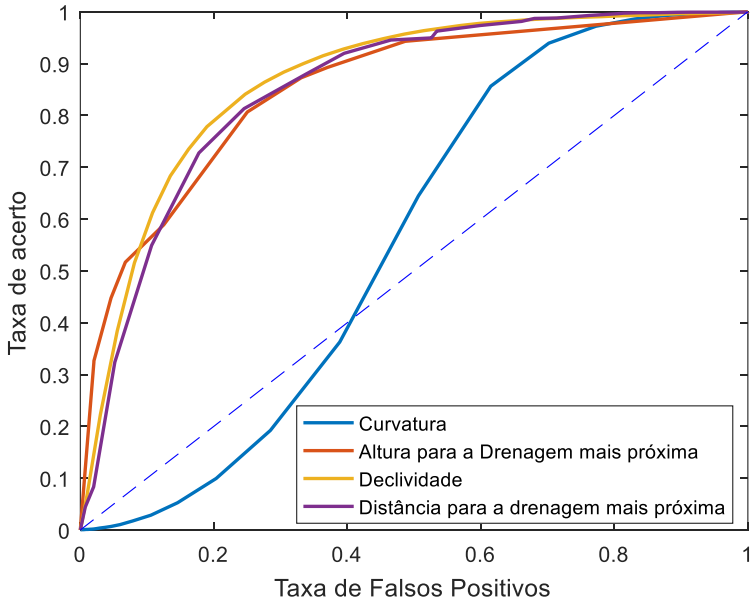

Figura 3 – Receiver Operating Curves para 4 descritores morfométricos (Curvatura, Declividade, Altura para a Drenagem mais próxima e Distância para a Drenagem mais próxima).

O mapeamento de risco em comparação com a mancha de inundação do município apresentou uma área de 6 % de risco severo, 38% classificada como alto risco, 50% risco médio e apenas 6% como baixo risco (Figura 4-d). Os resultados demonstram que as áreas centrais do município estão entre as localidades mais afetadas pelos desastres naturais, fato que coincide com os relatos de eventos extremos anteriores.

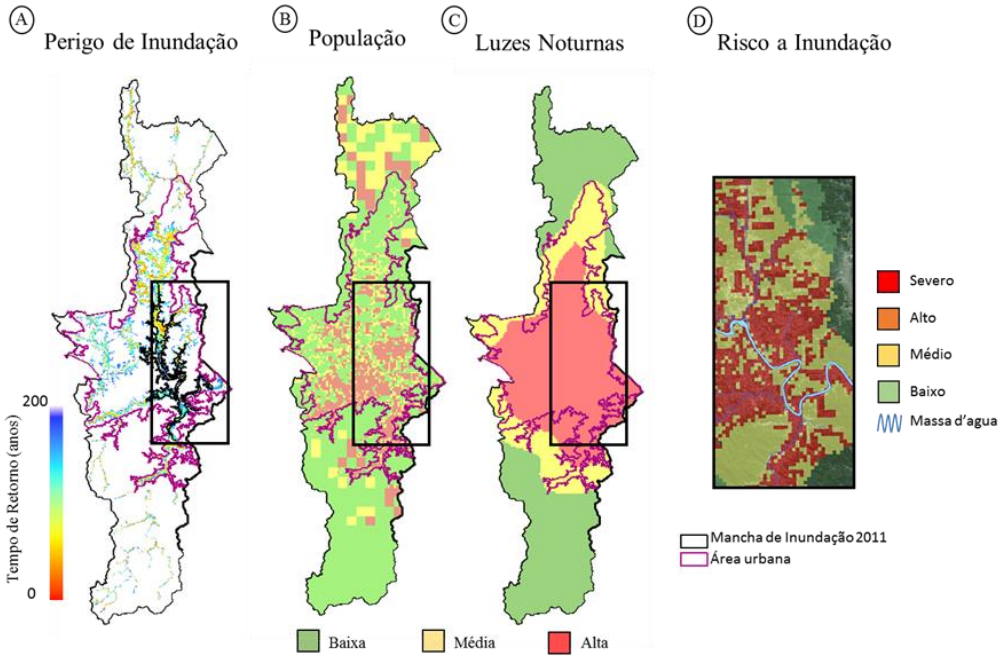

Figura 4 – a) Combinação de Perigo à inundação, b) número de habitantes, c) intensidade luminosa de luzes noturnas, e o resultado d) risco à inundação.

CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs uma abordagem para o mapeamento de risco à inundação combinando luzes noturnas, feições morfométricas, análise de séries históricas de vazões e informações censitárias, as quais foram aplicada ao munícipio de Blumenau.

Os resultados obtidos apresentam um cenário expressivo, uma vez que na área central analisada somente 6% fora considerada como baixo risco à inundação. No entanto, ainda que algumas áreas sejam classificadas como baixo risco, é fundamental que outras fontes de risco – e.g. deslizamentos, sejam levadas em consideração.

A utilização de feições morfométricas tem sido uma alternativa para a identificação de áreas propensas inundação. A metodologia proposta destaca-se pelo baixo custo computacional e a disponibilização gratuita dos dados - e.g. MDE, Luzes Noturnas e Dados Censitários, oportunizando que o mapeamento de risco à inundação seja acessível à uma grande quantidade de municípios brasileiros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e CNPq pelo suporte financeiro para a realização da pequisa.

REFERÊNCIAS

ABERS, R.N. (2007) Organizing for governance: building collaboration in Brazilian river basins. World Dev 35(8): pp.1450–1463.

BLÖSCHL, G.; GAÁL, L.; HALL, J.; KISS, A.; KOMMA, J.; NESTER, T.; PARAJKA, J.; PERDIGÃO, R. A. P.; PLAVCOVÁ, L.; ROGGER, M.; SALINAS, J. L.; & VIGLIONE, A. (2015). Increasing river floods: fiction or reality? *WIREs Water*, 2, pp.329-344.

CEOLA, S., LAIO, F., AND MONTANARI, A. (2014): Satellite nighttime lights revealing increased human exposure to floods worldwide, *Geophys. Res. Lett.*, 41, pp. 7184–7190.

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 (2017) Topography- and nightlight-based national flood risk assessment in Canada. *Hydrol. Earth Syst. Sci*., 21, pp. 2219–2232.

HALL, J.H.; BERKOUT, F. & DOUGLAS, R. (2015). Comentary: Responding to adaptation emergencies. *Nature Climate Change.* 5, pp.6-7.

HERRMANN, M.L.P. (2014) *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980-2010*. 2.ed. Florianópolis: Editora UFSC,. pp. 214 .

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010). Sinopse do censo demográfico 2010. Brasília.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Glossary of terms, in: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, edited by: Field, C. B., BARROS, V., STOCKER, T. F., QIN, D., DOKKEN, D. J., EBI, K. L., MASTRANDREA, M. D., MACH, K. J., PLATTNER, G.-K., ALLEN, S. K., TIGNOR, M., AND MIDGLEY, P. M., (2012). A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 555–564.

JONGMAN, B.; HOCHRAINER-STIGLER, S.; FEYEN, L.; AERTS, J. C. J. H.; MECHLER, R.; BOTZEN, W. W. J.; BOUWER, L. M.; PFLUG, G.; ROJAS, R. AND WARD, P. J. (2014). Letters Increasing stress on disaster-risk finance due to large floods. *Nature Climate Change*. 4, p.264-268

MANFREDA, S., NARDI, F., SAMELA, C., GRIMALDI, S., TARAMASSO, A. C., ROTH, G., AND SOLE, A. 2014. Investigation on the Use of Geomorphic Approaches for the Delineation of Flood Prone Areas, *Journal of Hydrology*, 517, pp. 863-876

MANFREDA, S., SAMELA, C., GIOIA, A., CONSOLI, G., IACOBELLIS, V., GIUZIO, L., CANTISANI, A., AND SOLE, A., 2015. Flood-Prone Areas Assessment Using Linear Binary Classifiers based on flood maps obtained from 1D and 2D hydraulic models, *Natural Hazards*, 79 (2), pp.735-754.

NERY, J.T., BALDO M.C., MARTINS M.D.L.O.F. (2000) O comportamento da precipitação na Bacia do Itajaí Acta Sci-Technol 22(5): pp. 1429–1435

NOBRE, A.D., CUARTAS, L.A., HODNETT, M., RENNÓ, C.D., RODRIGUES, G., SILVEIRA, A., AND WATERLOO, M. (2011). Height above the nearest drainage–a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*. 404, 13-29.

NOBRE, A.D., CUARTAS, L.A., MOMO, M.R., SEVERO, D.L., PINHEIRO, A., AND NOBRE, C.A. (2015). HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent**.** *Hydrological Process* 30, pp.320-333.

RENNÓ, C. D.; NOBRE A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J.; (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*. pp. 3469-3481.

REFOSCO, J.C.; SILVA, G.S.; ESKELSEN, C.R.; NICOLETTI, A.L.; CORDERO, A. & SALVADOR, D.F. (2013). Mapas de inundação a partir de geoprocessamento e georreferenciamento – O caso de Blumenau (SC). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçú 13-18 abril 2013. Foz do Iguaçú: INPE, p.4594–4600.

ROGGER, M.; KOHL, B.; PIRKL, H.; KOMMA, J.; KIRNBAUER, R.; MERZ, R.; BLÖSCHL, G.; (2012). Runoff models and flood frequency statistics for design flood estimation in Austria – Do they tell a consistent story? *Journal of Hydrology*, 456-457,

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. 2016. Accepted manuscript *at Hydrological Science Journal***,** pp.1-21.