REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE

Treicy Renata Belló Bengua [1], Taísa Flores [2] Yago Yguara Parente [3], Guilherme Garcia de Oliveira [4], Ulisses Franz Bremer [5], Atilio Efrain Bica Grondona [6] , Regis Alexandre Lahm[7]

[1] Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), treicybello@gmail.com; [2] UFRGS, taisatf.flores@gmail.com; [3] UFRGS, yagoparente96@gmail.com; [4] UFRGS, g.g.oliveira10@gmail.com; [5] UFRGS, bremer@ufrgs.br; [6] UFRGS, atilio.grondona@ufrgs.br; [7]PUCRS; LTIG, ralahm@hotmail.com

RESUMO

Desastres hidrológicos se tornaram cada vez mais comuns nas grandes metrópoles, principalmente em função da falta de planejamento para ocupação do território. Os mapas de suscetibilidade auxiliam na tomada de decisão e podem ser utilizados para tornar as cidades mais resilientes. O objetivo deste estudo foi produzir um mapa de suscetibilidade a alagamentos em Porto Alegre, utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA). Dividiu-se o estudo em três etapas: organização do inventário de alagamentos e amostragem; definição das variáveis de entrada; modelagem com RNA para produção do mapa de suscetibilidade. A acurácia global foi de 84,1%, indicando um bom ajuste do modelo às amostras do inventário de alagamentos. As áreas mais suscetíveis estão localizadas, preferencialmente, em áreas baixas e planas próximas do Lago Guaíba e do Rio Gravataí.

Palavras-chave **—** desastres naturais, suscetibilidade, modelagem, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Hydrological disasters have become increasingly common in large metropolises, mainly due to the lack of planning for the occupation of the territory. Susceptibility maps help decision making and can be used to make cities more resilient. The objective of this study was to produce a map of susceptibility to flooding in Porto Alegre, using Artificial Neural Networks (ANN). This study was divided in three stages: organization of the flooding inventory and sampling; definition of input variables; ANN modeling to produce the susceptibility map. The overall accuracy was 84.1%, which indicates a good fit of the model to the samples of the flooding inventory. The most susceptible areas are located, preferably, in low and flat areas near Lago Guaíba and Rio Gravataí.

Keywords *— natural hazards, susceptibility, modeling, remote sensing.*

1. INTRODUÇÃO

A ocupação urbana desordenada pode gerar diversos impactos ambientais negativos, dentre eles destacam-se: o aumento da impermeabilização do solo, a diminuição de áreas vegetadas, a piora nos índices de qualidade da água e o acúmulo de resíduos sólidos no sistema de drenagem [1]. Porto Alegre é uma metrópole que enfrenta esses problemas, apresentando pouca resiliência para eventos hidrológicos extremos, como os alagamentos, que se caracterizam pelo acúmulo de águas pluviais em vias públicas e residências, em função da falta de capacidade no sistema de drenagem.

Eventos extremos relacionados a fatores hidrológicos (alagamentos, enxurradas e inundações) podem ser prevenidos ou mitigados por meio do fornecimento de informações para o público, como por exemplo, os mapas de suscetibilidade [2], que delimitam as áreas mais propensas à ocorrência do evento. Trata-se de ferramentas essenciais para a gestão do risco de desastres, pois fornecem uma avaliação mais direta e rápida do que outros métodos [3].

Dentre as técnicas utilizadas para identificação de áreas suscetíveis a alagamentos, têm-se os modelos matemáticos baseados em aprendizagem de máquinas, como as redes neurais artificiais (RNA). Tais modelos têm grande aplicabilidade e costumam apresentar resultados satisfatórios, como nos estudos [4, 5, 6].

Segundo uma pesquisa realizada pelo Laboratório de Tratamento de Imagens e Geoprocessamento (LTIG) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), foram contabilizados mais de sete mil pontos de alagamentos em Porto Alegre, entre 2009 e 2019. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi realizar a modelagem e o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos em Porto Alegre, por meio da utilização de dados de sensoriamento remoto, em conjunto com modelo de RNA.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo deste trabalho é o município de Porto Alegre (Figura 1), o qual possui uma área de 496 km², e estima-se que tenha 1.490.000 habitantes [7]. Em relação ao relevo, Porto Alegre apresenta, na zona norte, extensas áreas de planícies e terraços fluviais, pertencentes ao domínio da Depressão Periférica; na área central da cidade, apresenta-se o Escudo Sul-Rio-Grandense, constituído por morros e colinas; na zona sul, emergem, em meio aos morros, áreas

planas associadas à Província Costeira [8]. O clima é o Cfa (classificação de Köppen), com temperaturas médias mensais que variam de 12 a 25°C, precipitação bem distribuída ao longo do ano, com acumulado médio de 1.600 mm/ano [9]. Os alagamentos ocorrem frequentemente na cidade de Porto Alegre, majoritariamente associados a chuvas torrenciais (intensas e de curta duração), comuns entre os meses de novembro a março, ainda que possam ocorrer a partir de chuvas volumosas de longa duração, mais recorrentes entre os meses de abril e outubro [10].

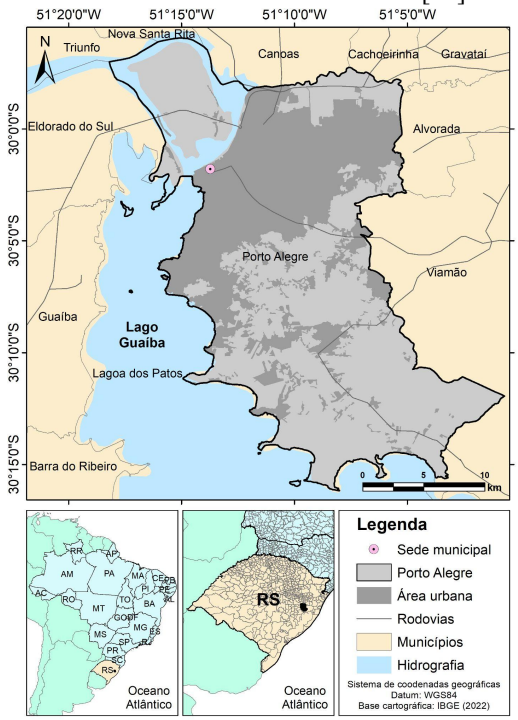


Figura 1. Localização do município de Porto Alegre/RS.

2.2. Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos foram divididos em três etapas (Figura 2), envolvendo: (i) organização de um inventário de alagamentos, (ii) extração de atributos do terreno e variáveis de entrada, (iii) modelagem com RNA, com geração do mapa de suscetibilidade a alagamentos.

Na primeira etapa, foi utilizada uma base vetorial de pontos de alagamentos (2009-2019), disponibilizada pelo LTIG/PUCRS. Organizou-se um inventário de ocorrências, reduzindo sua dimensionalidade por meio da exclusão de amostras muito próximas (30 m), totalizando 2.265 pontos. Para amostragem de pontos de não ocorrência, adotou-se a proporção 1:1, isto é, foram coletadas amostras em igual número para áreas sem alagamentos registrados, visando reduzir a tendenciosidade no processo de modelagem. Os pontos de não ocorrência foram gerados aleatoriamente considerando a malha urbana de Porto Alegre, adotando-se distância mínima de 100 m entre eles. No total, o conjunto amostral foi composto por 4.530 pontos. Todo o procedimento foi realizado no ArcGIS.

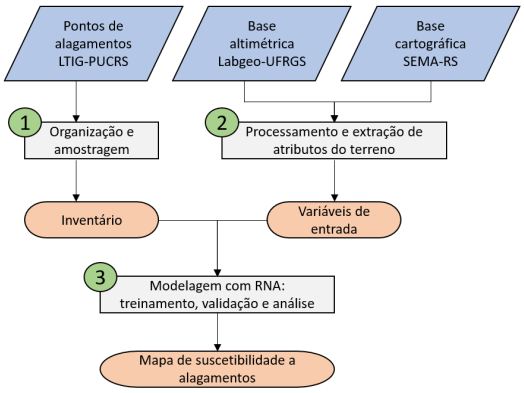


Figura 2. Fluxograma das etapas metodológicas do estudo.

Em seguida, foram processados os dados da Base Altimétrica de Porto Alegre (escala 1:1.000) [11] e da Base Cartográfica do RS (1:25.000) [12], disponibilizadas, respectivamente, pelo Laboratório de Geoprocessamento (Labgeo) da UFRGS e pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA/RS). A partir das curvas de nível e pontos cotados, foi produzido, por interpolação, um modelo digital de elevação (MDE) com resolução espacial de 3 m, consistindo na primeira variável (elevação). Derivados do MDE, foram extraídos três atributos do terreno: i) declividades; ii) distância das linhas de drenagem; iii) diferença altimétrica para drenagem mais próxima. Da base estadual, foi obtida a quinta variável de entrada para o modelo: a distância das massas d'água (Lago Guaíba e Rio Gravataí). Os valores foram extraídos para os pontos amostrais, tabela organizada no *software* Microsoft Excel.

O modelo de RNA utilizado foi o *MultiLayered Perceptron* (MLP), com três camadas, escrito no MATLAB. O algoritmo de treinamento é o Retropropagativo [13] com uso da Regra Delta para atualização dos pesos sinápticos [14]. A função de ativação dos neurônios foi a sigmoide. Testamos os melhores hiperparâmetros do modelo: i) N° de inicializações da RNA; ii) N° de neurônios na camada oculta; iii) N° de iterações em cada inicialização.

As amostras foram divididas aleatoriamente em três séries: i) treinamento (60%), ii) validação cruzada (20%), iii) teste (20%). A série de treinamento é usada para atualização dos pesos sinápticos. A série de validação cruzada serve para evitar o superajustamento da RNA e indica o instante de máxima capacidade de generalização. A série de teste foi usada somente para verificação do desempenho do modelo, medido a partir de duas métricas: índice AUC, área sob a curva ROC, *Receiver Operator Characteristic curve* [15]; acurácia global (AG), em que divide-se o n.° de amostras corretamente classificadas pelo total de amostras [16], obtida a partir da matriz de confusão, na qual se discrimina a saída da RNA em duas classes (ocorrência ou não ocorrência de alagamentos).

Após avaliação do processo de modelagem, foi gerado um mapa de áreas suscetíveis a alagamentos para o município de Porto Alegre a partir da melhor RNA treinada.

3. RESULTADOS

A melhor RNA ajustada foi obtida após diversos testes de hiperparâmetros. O modelo usado para produção do mapa de suscetibilidade a alagamentos considerou 5 variáveis de entrada, 11 neurônios na camada oculta, 60.000 iterações e um total de 30 inicializações da RNA. Obtivemos índice AUC de 0,932 para amostras de treinamento e 0,921 para o conjunto de testes. O índice AG foi de 0,849 (treinamento) e de 0,841 (teste).

A partir do modelo treinado, a RNA exporta o mapa de saída (Figura 3), no intervalo entre 0 e 1. O limiar que melhor discrimina os pontos de ocorrência dos demais foi o valor 0,53, sendo este o escolhido como limite superior para a classe de Muito Baixa suscetibilidade. As demais classes foram definidas da seguinte forma: Baixa (0,53-0,65), Média (0,65-0,80), Alta (0,80-0,95) e Muito Alta (> 0,95). A partir do mapa de suscetibilidade, foram calculadas as áreas referentes a cada classificação (Tabela 1) e foi identificado que 55,9% da área foi avaliada como muito pouco suscetível a alagamentos, ao passo que 29,6%, muito suscetível a alagamentos.

Na Figura 3, é possível observar que as regiões mais próximas às margens do Lago Guaíba e do Rio Gravataí são as áreas que obtiveram valores mais altos de suscetibilidade. Essa área, atribuída às classes de nível Alto e Muito Alto, representa cerca de 35% da área total da capital, no entanto, essa é a região onde há maior densidade populacional, portanto, onde há mais pessoas em risco aos prejuízos causados pelos alagamentos.

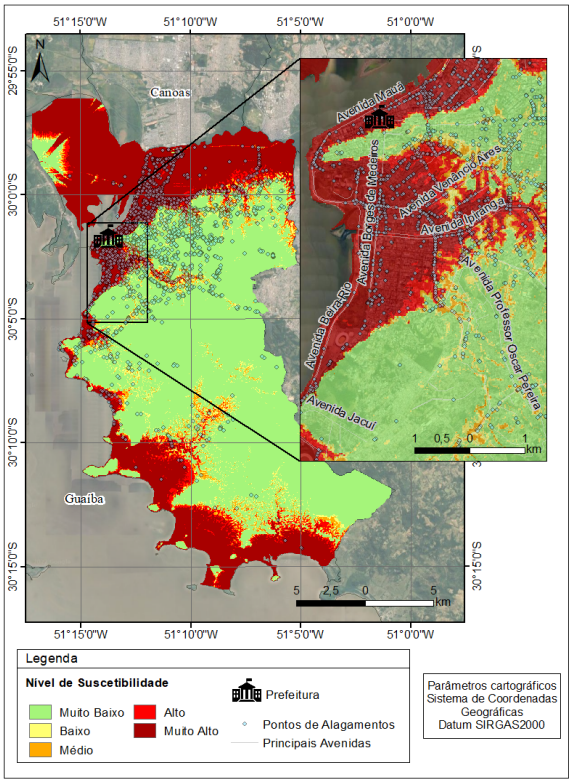


Figura 3. Suscetibilidade a alagamentos em Porto Alegre/RS.

Classificação	Área (km²)	Área (%)
Muito Baixo	265,93	55,87
Baixo	23,11	4,85
Médio	21,05	4,42
Alto	25,11	5,28
Muito Alto	140,78	29,58
Total	475,98	100,00

Tabela 1. Áreas classificadas conforme sua suscetibilidade a alagamentos em Porto Alegre/RS.

Observando o mapa em detalhe, ilustramos outra zona da cidade considerada de alto ou muito alto nível de suscetibilidade. Localizada nas proximidades do centro histórico, é destacada a Av. Ipiranga como propensa a alagamentos, principalmente pela presença do Arroio Dilúvio, tendo em vista a variável que considera a proximidade aos corpos hídricos, a diferença de altitude em relação a rede de drenagem mais próxima e a própria declividade da rua.

Fundamentado nessa análise, observa-se no mapa que apresenta em detalhes a zona central-histórica de Porto Alegre, que o resultado obtido é condizente com a realidade, pois a área assinalada como de muito alta suscetibilidade possui muitos registros de alagamentos apurados pelo LTIG.

Outro ponto a ser mencionado é a zona norte de Porto Alegre, pertencente à Depressão Periférica; essa área possui uma paisagem marcante de terraços fluviais e planícies, e tais características refletem-se na quantidade de alagamentos pontuados na zona norte da capital. Isso foi muito bem representado no mapa de suscetibilidade, uma vez que grande parte da área foi classificada como muito suscetível a alagamentos.

Em contrapartida, aproximadamente 56% da área da capital foi classificada como área de suscetibilidade muito baixa. Essas regiões estão mais distantes da margem do Guaíba e, também, possuem menor densidade demográfica, com menor proporção de núcleos urbanos. O relevo predominante nessas áreas se refere a colinas e morros, estando relacionados ao Escudo Sul-Riograndense.

4. DISCUSSÃO

Considerando os resultados obtidos na etapa de verificação do modelo, obtiveram-se índices de AUC maiores que 0,9. Tal valor referente à área sob a curva ROC se demonstra satisfatório, pois, ao se analisar outros estudos para a área [4,5], constatou-se que valores similares, ou até menores, foram eficientes para a validação dos modelos. Em relação à acurácia global, os índices, que foram superiores a 0,8, também se mostraram eficazes para validar o modelo.

Esse resultado é promissor, uma vez que outras metrópoles, assim como Porto Alegre, estão submetidas a eventos hidrológicos extremos, e o uso de um mapa de suscetibilidade aponta de maneira rápida e eficaz ao poder público os locais onde se deve atuar com mais urgência, buscando a otimização de programas que visem mitigar os danos causados pelos alagamentos.

5. CONCLUSÕES

A partir das ferramentas escolhidas, foi possível classificar 5 categorias de análise para suscetibilidade a alagamentos em Porto Alegre: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. A classificação atribuída a cada região se refere ao valor calculado pelo modelo matemático utilizando RNA, após uma série de etapas de aprendizado produzidas pelo modelo, a partir do qual se identificou que o melhor limiar de ocorrência para alagamentos na capital é de 0,53.

Posto isto, identificou-se que 35% da área da capital é considerada de nível alto ou muito alto para suscetibilidade a alagamentos. Contudo, essa área está localizada onde há a maior concentração de pessoas da capital, principalmente próximas ao centro histórico e à zona norte. Dessa forma, um sistema mais robusto de gestão, planejamento e mitigação aos prejuízos causados pelos alagamentos deve ser criteriosamente aplicado para a melhoria da qualidade de vida urbana.

A validação do resultado do estudo também se mostrou eficiente, pois ao se comparar as classificações da região com a geologia e com estudos posteriormente realizados, observa-se que as regiões consideradas de maior nível de suscetibilidade a alagamentos gerados pelas variáveis propostas também são as que possuem maiores quantidades de registros de alagamentos.

No que se refere ao modelo de RNA, os resultados também se mostraram satisfatórios, uma vez que foi capaz de identificar as áreas da capital mais suscetíveis a alagamentos, que são aquelas com o índice AUC maior que 0,9, tanto para amostras de treinamento quanto para amostras de teste.

Portanto, a metodologia se mostra promissora para a realização de futuros projetos, podendo, inclusive, ser expandida para o desenvolvimento de mapas de perigo, vulnerabilidade e risco, previsão de desastres, entre outros, por meio da melhoria em relação às variáveis de entrada do modelo, teste de outras arquiteturas de RNA, ou até mesmo outros métodos de aprendizagem de máquina, explorando cada vez mais a área de sensoriamento remoto e sua capacidade de integração com outras disciplinas, para facilitar a gestão de áreas que sofrem com altos índices de suscetibilidade a desastres.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo financiamento da pesquisa pela Chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021, Processo 408489/2021-9.

7. REFERÊNCIAS

[1] K. Santos, I. Rufino, M. Filho. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 5, pp. 943-952, 2017.

[2] MUDASHIRU, Rofiat Bunmi; SABTU, Nuridah; ABUSTAN, Ismail. Quantitative and semi-quantitative methods in flood hazard/susceptibility mapping: a review. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 14, n. 11, p. 1-24, 2021.

[3] P. Araújo, V. Amaro, R. Silva, A. Lopes. Delimitation of flood areas based on a calibrated a DEM and geoprocessing: case study on the Uruguay River, Itaqui, southern Brazil. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 19, n. 1, pp. 237-250, 2019.

[4] M. Lohmann, L. J. C. Santos, C. Cumico. Avaliação de modelos regressivo logístico e baseado em rede neural para previsão da probabilidade de ocorrência de alagamentos em Curitiba-PR. *Revista Brasileira de Geografia Física,* v. 9, n. 7, pp. 2247-2263, 2016.

[5] Y. Wang, Z. Fang, H. Hong, L. Peng. Flood susceptibility mapping using convolutional neural network frameworks. *Journal of Hydrology*, v. 582, pp. 1-15, 2019.

[6] FALAH, Fatemeh et al. Artificial neural networks for flood susceptibility mapping in data-scarce urban areas. In: *Spatial modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences.* Elsevier, 2019. p. 323-336.

[7] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades*. Disponível em: < https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-alegre/panorama>.

[8] R. Menegat, M. L. Porto, C. C. Carraro, L. A. D. Fernandes. *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

[9] M. F. B. Dos Santos, C. V. CADEMARTORI. Estudo comparativo da avifauna em áreas verdes urbanas da região metropolitana de Porto Alegre, sul do Brasil. *Biotemas*, v. 23, n. 1, pp. 181-195, 2010.

[10] G. G. Oliveira. Os alagamentos em uma sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS, com ênfase na geomorfologia e drenagem urbana. *VI Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Goiânia-GO, 2006.

[11] H. Hasenack, E. J. Weber, L. M. L. Lucatelli. 2010. *Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica*. UFRGS-IB-Centro de Ecologia, Porto Alegre, 2010.

[12] SEMAS-RS. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. *Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:25.000* – BCRS25: versão 1.0. Porto Alegre, 2018.

[13] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, R. J. Williams. Learning representations by backpropagating errors. *Nature*, v. 323, pp. 533-536, 1986.

[14] B. Widrow, M. E. Hoff. *Adaptive Switching Circuits*. 1960 IRE WESCON Convention Record, New York: IRE Part, pp. 96–104, 1960.

[15] T. Fawcett. *An introduction to ROC analysis*. Pattern Recognition Letters, v. 27, pp. 861-874, 2006.

[16] E. M. Mikhail, F. Ackerman. *Observations and Least Squares*. University Press of America, New York, 1976.