COMITÊ DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADO AO MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS

Lucimara Bragagnolo [1] ; Roberto Valmir da Silva [1 2] & Jose Mario Vicensi Grzybowski [1 3]

ABSTRACT – Mapping landslide susceptibility areas is a fundamental task towards the adoption of preventive measures and adequate strategies of evacuation. Several actions have been taken by public agencies in Brazil toward the development of preventive measures aimed at minimizing risks to human life and infra-structure. However, much effort is still to be done in order to make landslide susceptibility mapping and management available countrywide. This occurs mainly due to two reasons. First, except for a very small number of its cities, Brazil still lacks the culture of maintaining detailed inventories of landslide events to compose databases of scientific value for landslide susceptibility mapping. Second, the deficit of technical and scientific expertise on landslides mapping at civil defense offices. As a means to assist and enhance the process of generating reliable landslide susceptibility maps, the scientific community has turned its attention to machine learning techniques, such as artificial neural networks. In this work, we test the performance of an Artificial Neural Network Ensemble (ANNE) in the task of generating landslide susceptibility maps. As it turns out, scientific studies have indicated that artificial neural network ensembles have the potential to outperform individual neural networks. The advantage of ANNEs over traditional methods is that they combine the cognitive capacity of several individual neural networks with different learning backgrounds, thus enhancing the potential to give accurate results. To that end, we train, validate and test about 42 thousand artificial neural networks using data from the landslide inventory of Porto Alegre, Rio Grande do Sul state, Brazil, and then select those with best performance to compose the ensemble. In order to evaluate the susceptibility maps generated by the ANNE, we use the landslide susceptibility map produced by the Geological Survey of Brasil (CPRM) agency. The results show that the landslide susceptibility maps generated by the ANNE feature high level of quantitative and qualitative agreement with the map by CPRM, thus indicating that ANNEs are able to capture the essential features of the phenomenon and thus may be an effective tool to assist civil defense professionals in the task of producing such maps.

Palavras-Chave – Redes neurais artificiais. Desastres Naturais. Cartas de susceptibilidade.

1) Universidade Federal da Fronteira Sul, Rodovia RS 135 km 72, CEP 99.700-000, Erechim, RS, Brazi, lucimarabragagnolo@hotmail.com, (54) 3321-7050
2) roberto.silva@uffs.edu.br
3) jose.grzybowski@uffs.edu.br

1 - INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de terra são processos naturais resultantes da interação de complexos fatores ambientais, que incluem fenômenos de intemperismo, terremoto, precipitação e derretimento de neve. Além disso, as atividades antrópicas, como a construção de estradas e edifícios em áreas de maior declividade favorecem a ocorrência desses processos (Cubito *et al.*, 2005). Tais eventos desempenham importante papel no que se refere à evolução da paisagem, especialmente em ambientes montanhosos, como também representam sérios riscos em diferentes regiões do mundo (Cendrero e Dramis, 1996). Esses riscos relacionam-se com efeitos sociais e econômicos, podendo resultar em danos diretos e indiretos, causando óbitos, perda de patrimônio, danos sobre recursos naturais e prejuízos em obras de infraestrutura, como estradas, pontes e linhas de comunicação (Saha *et al.*, 2002).

Por conta disso, o zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamento torna-se fundamental, pois permite que medidas de prevenção, estratégias de ação e evacuação sejam tomadas de forma antecipada, minimizando danos. Recentemente, diversos eventos resultaram em danos significativos e até mesmo em mortes, como na Colômbia (Dewan *et al.*, 2017); Indonésia (Burke, 2017); México (Trucco e Lopez, 2016) e Guatemala (Brumfield, 2015).

Frente a isso, diversas ações já vêm sendo tomadas por diferentes órgãos federais e estaduais brasileiros no que se refere ao desenvolvimento de sistemas de monitoramento e prevenção. Pode-se citar, por exemplo, as ações desenvolvidas na cidade do Rio de Janeiro, que possui um sistema de alerta de chuvas intensas e deslizamentos. Tem-se, também, órgãos como o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (Cemaden) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que tratam da gestão desse tipo de problema. Contudo, muito ainda se deve avançar para alcançar um estágio de desenvolvimento adequado para a demanda, isso porque uma das principais dificuldades encontradas refere-se à relativa demora na geração de resultados e a falta de corpo técnico especializado. Além disso, apenas uma pequena porção do território brasileiro possui cartas indicando zonas suscetíveis a deslizamento.

Assim, a busca por metodologias que acelerem esse processo e sirvam como apoio para a tomada de decisão em órgãos como as Defesas Civis é considerada de grande importância. Alguns métodos já vêm sendo testados para resolver tais problemas, dando suporte à geração de cartas de susceptibilidade e acelerando o processo de elaboração dessas. Um exemplo é o uso de técnicas que utilizam o aprendizado de máquina, como as redes neurais artificiais (RNAs). A partir da inserção de parâmetros de entrada e exemplos de regiões em que já houve e não houve a ocorrência de deslizamentos, as redes tornam-se capazes de aprender os padrões ali existentes e de generalizar respostas, identificando diferentes graus de susceptibilidade. Apesar de a performance de redes neurais ser considerada satisfatória no que se refere ao zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamento (Alimohammadlou *et al.*, 2014; Arnone *et al.*, 2016; Conforti *et al.*, 2014; Gómez e

Kavzoglu, 2005), ela pode ainda ser aprimorada por meio da implementação de comitês de RNAs (Pham *et al.*, 2017). A principal razão para o melhor desempenho de comitês é, em princípio, que os erros de saída de RNAs treinadas independentemente tendem a se cancelar, consequentemente realçando a identificação das verdadeiras propriedades e relações funcionais do fenômeno em estudo (Santin *et al.*, 2016).

Nesse sentido, esse estudo objetivou realizar um levantamento das metodologias já existentes no que se refere à gestão de riscos de desastres no Brasil e, a partir disso, propor uma aplicação metodológica baseada em comitês de RNAs para auxiliar na identificação de zonas suscetíveis a deslizamentos de terra. Para tanto, desenvolveu-se o mapa de susceptibilidade a deslizamentos para a cidade de Porto Alegre a partir da aplicação de comitês de RNAs, bem como comparou-se os resultados obtidos com a carta de suscetibilidade elaborada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2012). Os resultados obtidos indicam um bom nível de concordância quantitativa e qualitativa quando comparados com o mapa oficial gerado pelo do Serviço Geológico do Brasil, indicando o potencial das técnicas de aprendizagem de máquina para auxiliar os profissionais responsáveis pela gestão dos riscos de desastres naturais.

2 - GESTÃO DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL

Visto a intensidade de desastres naturais ocorridos no Brasil, criou-se, em 2011, o Cemaden. O objetivo do referido centro é a realização de monitoramento e emissão de alertas de riscos de desastres, como deslizamentos. Os alertas executados pela instituição baseiam-se em análises de risco de condições adversas, a partir de modelagem matemática e acompanhamento de informações provenientes de redes geo-hidrometeorológicas distribuídas pelo país. A partir da identificação de desastres potenciais, os órgãos de defesa civil dos estados e municípios são acionados (CEMADEN, 2017). Já em 2012, o país publicou o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, esse dividido em 4 eixos principais: (a) mapeamento, a partir da elaboração de mapas de susceptibilidade; (b) monitoramento e alerta, com a estruturação da Rede Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais; (c) prevenção e infraestrutura; e (d) resposta a desastres, envolvendo ações voltadas ao socorro e assistências para recuperação de áreas atingidas por desastres (Brasil, 2012).

Ainda a nível nacional, outra ferramenta utilizada para a gestão de risco no país refere-se à elaboração de cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações, que vêm sendo desenvolvidas pelo CPRM. Até fevereiro de 2018, 378 cartas foram elaboradas, o que ainda corresponde a aproximadamente 7% dos municípios brasileiros (CPRM, 2012). A mesma instituição ainda desenvolveu uma plataforma para armazenamento e cadastros de dados referentes a deslizamento de terra ocorridos no Brasil (CPRM, 2011).

Com a busca pela consolidação de uma gestão adequada desses problemas, os estados e alguns municípios brasileiros também passaram a desenvolver mecanismos para emissão de alertas à população em geral. Em síntese, alertas em SMS são enviados a partir da identificação de potenciais problemas com auxílio de radares meteorológicos, imagens de satélite, modelos matemáticos e análise de técnicos. Como exemplo, pode-se citar a cidade do Rio de Janeiro, que já possui um sistema de alerta de chuvas intensas e de deslizamentos denominado de "Alerta Rio". O sistema informa 4 níveis de probabilidade de ocorrência de escorregamentos de terra a partir de uma rede existente de pluviômetros que constata quando quantidades de precipitação ultrapassam valores pré-estabelecidos, emitindo, assim, alertas à população (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2013).

Apesar de tudo, de acordo com Soriano *et al.* (2017), inúmeros órgãos municipais de defesa civil ainda apresentam dificuldades no desenvolvimento de propostas de identificação, controle e mitigação de desastres naturais, como consequência das limitações técnicas impostas pela formação de seus agentes e pela estrutura institucional da Defesa Civil, ainda não bem consolidada.

Diante do exposto, embora se tenha percebido uma evolução quanto à preocupação com vistas à gestão de riscos de desastres naturais, um caminho longo ainda deve ser percorrido. Isso porque um dos principais problemas das metodologias tradicionais que têm sido utilizadas é a demora na geração de resultados, bem como a especificidade de algumas delas, exigindo um grau de conhecimento técnico elevado, limitando sua aplicabilidade a centros de pesquisa, por exemplo. Nesse sentido, redes neurais artificiais (RNAs) constituem-se em uma alternativa promissora no contexto dessa problemática (Alimohammadlou *et al.*, 2014; Arnone *et al.*, 2016; Conforti *et al.*, 2014; Gómez e Kavzoglu, 2005), tendo em vista a variabilidade da disponibilidade e formato dos bancos de dados disponíveis a serem utilizados como dados de entrada.

3 - COMITÊS DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADOS A IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS

3.1 - Metodologia

O algoritmo da rede neural artificial foi desenvolvido com base no princípio do *perceptron* de múltiplas camadas (MLPs). Essa estrutura contempla um conjunto de neurônios sensoriais, constituído pela camada de entrada, em que os parâmetros que são utilizados para o treinamento, validação e teste são inseridos; outro conjunto de neurônios localizado na denominada camada intermediária ou oculta, além de uma camada de neurônios de saída, essa que resultará, nesse caso, na susceptibilidade de deslizamento de um determinado pixel, em uma escala que varia de 0 (baixa susceptibilidade) a 1 (alta susceptibilidade).

Os registros de deslizamentos, contendo as respectivas coordenadas geográficas, e utilizados para o aprendizado da máquina, foram extraídos de (Brito, 2014). Para o treinamento, validação e teste do comitê de RNAs, utilizou-se 50 registros de deslizamentos extraídos de Brito (2014), bem

como 50 registros de não-deslizamento, definidos aleatoriamente com o auxílio do software QGIS 2.18.4 (QGIS Development Team, 2009). Esses ainda foram separados em 3 conjuntos distintos, nas seguintes proporções: 70% dos registros para treinamento, 15% para validação e 15% para teste, sendo que os dois primeiros foram reamostrados aleatoriamente para o desenvolvimento das redes neurais individuais, a partir do método *bootstrapping* (Koch *et al.*, 2013).

O aprendizado deu-se em função de 7 diferentes parâmetros de entrada: litologia, elevação, aspecto, declividade, índice topográfico de umidade, uso do solo e curvatura vertical, esses retirados de diferentes bases de dados gratuitas (Hasenack *et al.*, 2008; INPE, 2008; Rio de Janeiro, 2016). O treinamento, validação e teste de redes neurais artificiais deu-se com 14 diferentes arquiteturas (7-2-1 a 7-15-1), bem como com a variação de 100 conjuntos de registros e 30 condições iniciais, para a posterior composição dos comitês a partir da seleção dentre as 42.000 redes individuais que obtiveram melhor desempenho. A variação do número de conjuntos e condições iniciais justifica-se pela necessidade de criar redes individuais com diferentes padrões de aprendizado. Por fim, selecionou-se as redes que apresentaram coeficiente de Pearson $p < 0.5$. Um exemplo da estruturação de uma rede individual e da construção de um comitê é apresentado na Figura 1.

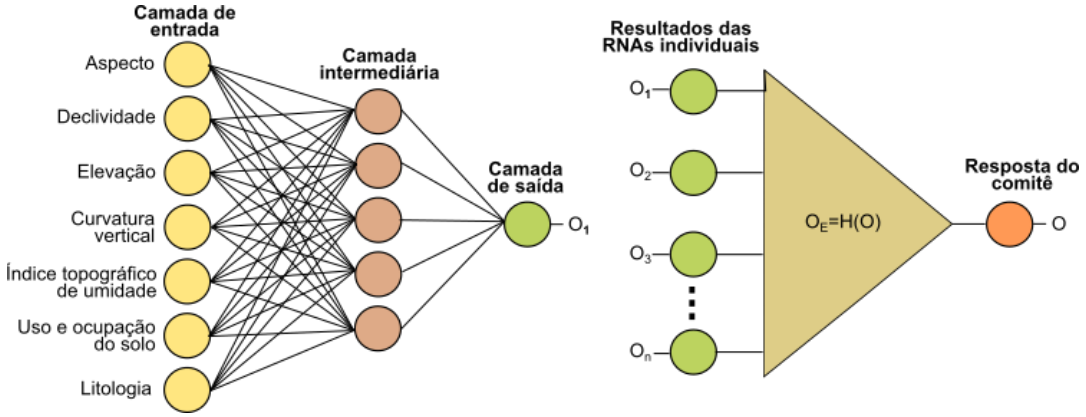

Figura 1 – Estruturação de um comitê de RNAs. (a) Arquitetura de uma RNA individual 7-5-1 (sete parâmetros de entrada, cinco neurônios na camada intermediária e um neurônio de resposta) e (b) Composição do comitê de RNAs: um conjunto de redes individuais é selecionado e, a partir da aplicação de uma função H(O), gera-se a resposta final (fonte: autoria própria).

3.2 - Resultados e discussão

Esta seção apresenta os resultados da aplicação do comitê de RNAs na identificação e zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamentos para a cidade de Porto Alegre, RS, Brasil. A Figura 2 mostra que o mapa de susceptibilidade gerado pelo comitê de RNAs apresenta alto grau de concordância com a carta de suscetibilidade gerada pelo CPRM, bem como com os pontos de deslizamento retirados do banco de dados e não utilizados durante as etapas de treinamento, validação e teste. Já a Figura 3 apresenta a matriz de confusão para os registros de teste aplicados ao comitê de RNAs. Pode-se verificar que o comitê foi capaz de identificar com sucesso todas as

ocorrências de deslizamento do conjunto utilizado para teste, com a ausência de falsos positivos ou falsos negativos.

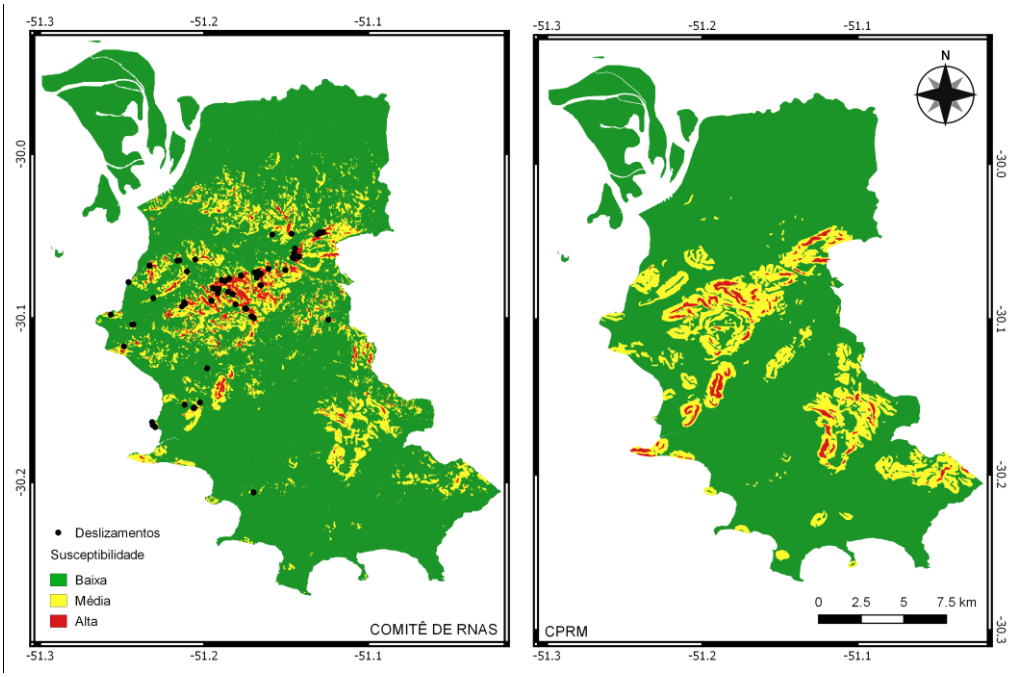

Figura 2 - Mapas de susceptibilidade a deslizamentos (a) gerado a partir do comitê de RNAs e apresentando os pontos de eventos de deslizamento que ocorreram na cidade de Porto Alegre e (b) carta de susceptibilidade produzida pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2012).

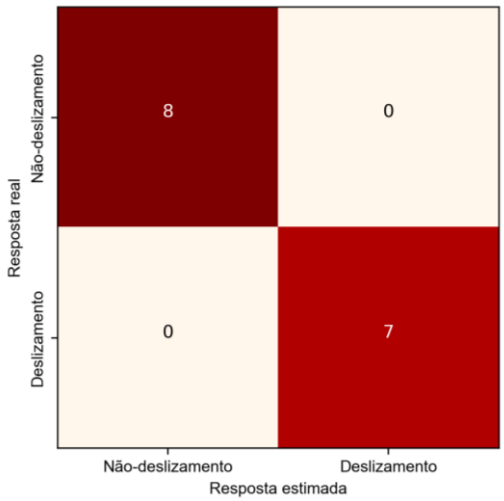

Figura 3 - Matriz de confusão para a resposta do comitê de RNA para o conjunto de registros de teste

Os resultados indicam que o uso de RNAs para esse tipo de problema permite que a identificação de áreas suscetíveis seja realizada de forma mais eficiente e econômica, já que a metodologia permite que áreas suscetíveis sejam identificadas em tempo reduzido, bem como possibilita a utilização de dados disponíveis e de diferentes tipos de variáveis. Assim, uma avaliação qualitativa e quantitativa das zonas consideradas suscetíveis pode ser gerada de forma automatizada, na forma de um pré-diagnóstico que deve ser avaliado e validado por especialistas.

A elaboração de mapas de suscetibilidade a deslizamentos pode auxiliar tanto as entidades de planejamento na escolha de áreas adequadas para a implantação de obras de infraestrutura, como também os órgãos responsáveis pela gestão de riscos, como é o caso das Defesas Civis regionais e municipais. Contudo, vale destacar que esse tipo de resposta, em decorrência da resolução espacial dos dados utilizados, torna-se mais adequada para uma avaliação preliminar e de maior abrangência, enquanto que, em escala local, julga-se necessário o acompanhamento de especialistas dessa área de conhecimento (Biswajeet e Saro, 2007).

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo propôs uma metodologia baseada na aplicação de um comitê de redes neurais artificiais para a identificação de áreas suscetíveis a deslizamentos. A metodologia apresentou performance satisfatória, tendo identificado todas as ocorrências de deslizamento do conjunto utilizado para teste, com a ausência de falsos positivos ou falsos negativos.

Uma vez treinados, validados e testados, comitês de RNAs podem ser aplicados em diferentes áreas, baseando-se em registros e parâmetros ambientais dos respectivos locais de estudo. Assim, é possível afirmar que a ANNE possibilita a identificação acurada e eficiente de áreas suscetíveis a deslizamentos. Cabe salientar novamente que a elaboração de mapas de suscetibilidade é essencial para auxiliar instituições de planejamento e órgãos públicos no que se refere ao uso e ocupação do solo de uma região, bem como para a criação de medidas preventivas e mitigadoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alimohammadlou, Y.; Najafi, A.; Gokceoglu, C. (2014). "*Estimation of rainfall-induced landslides using ANN and fuzzy clustering methods: A case study in Saeen Slope, Azerbaijan province, Iran*". Catena, v. 120 , p. 149–162.

Arnone, E.; Francipane, A.; Scarbaci, A.; Puglisi, C.; Noto, L. V. (2016). "*Effect of raster resolution and polygon-conversion algorithm on landslide susceptibility mapping*". Environmental Modelling and Software, Elsevier Ltd, v. 84 , p. 467–481.

Biswajeet, P.; Saro, L. (2007). "*Utilization of Optical Remote Sensing Data and GIS Tools for Regional Landslide Hazard Analysis Using an Artificial Neural Network Model*". Earth Science Frontiers, v. 14 n. 6, p. 143–151.

Brasil. (2012). "*Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (2012 – 2014)*".

Brito, M. M. de. (2014). "*Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS*". Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Brumfield, B. (2015). "*Death toll after Guatemala landslide tops 130*". CNN, Atlanta.

Burke, D. (2017). "*Dozens feared dead as landslide hists homes in Indonesia*". Daily Mail, Kensington.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. (2017). "*Cemaden: ....novos desafios*".

Cendrero, A.; Dramis, F. (1996). "*The contribution of landslide to landscape evolution in Europe*".

Geomorphology, n. 15, p. 191–211.

Conforti, M.; Pascale, S.; Robustelli, G.; Sdao, F. (2014). "*Catena Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment*". Catena, Elsevier B.V., v. 113 , p. 236–250.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (2011). "*Sistema de Cadastro de Deslizamentos e Inundações*". <http://www.cprm.gov.br/scdi/movimentos/>.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (2012). "*Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionas de Massa e Inundações*".

Cubito, A.; Ferrara, V.; Pappalardo, G. (2005). "*Landslide hazard in the Nebrodi Mountains (Northeastern Sicily)*". Geomorphology, v. 66 n. 1–4 SPEC. ISS., p. 359–372.

Dewan, A.; Deaton, J.; Castillo, M. (2017). "*More than 200 dead, many missing in Colombia mudslides*". CNN, Atlanta.

Gómez, H.; Kavzoglu, T. (2005). "*Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela*". Engineering Geology, v. 78 n. 1–2, p. 11–27.

Hasenack, H.; Weber, E.; Marcuzzo, S. (2008). "*Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: Geologia, Solos, Drenagem, Vegetação e Ocupação*". Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008, Porto Alegre.

INPE. Instituto de Pesquisas Espaciais. (2008). "*TOPODATA. Banco de dados geomorfométricos do Brasil*". <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>.

Koch, W.; Meng, Y.; Shah, M.; Chang, W.; Yu, X. (2013). "*Predicting nerve guidance conduit performance for peripheral nerve regeneration using bootstrap aggregated neural networks*". Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks.

Nogueira, F. R.; Oliveira, V. E. de; Canil, K. (2014). "*Políticas públicas regionais para gestão de riscos: o processo de implementação no ABC, SP*". Ambiente & Sociedade, v. 17 n. 4, p. 177–194.

Pham, B. T.; Bui, D. T.; Prakash, I.; Dholakia, M. B. (2017). "*Hybrid integration of Multilayer Perceptron Neural Networks and machine learning ensembles for landslide susceptibility assessment at Himalayan area (India) using GIS*". Catena, Elsevier B.V., v. 149 , p. 52–63.

Prefeitura do Rio de Janeiro. (2013). "*Rio de janeiro em busca da resiliência frente chuvas fortes*".

QGIS Development Team. (2009). "*QGIS Geographic Information System*".

Rio de Janeiro. (2016). "*Cobertura vegetal e uso da terra 2016*". Data Rio, Rio de Janeiro.

Saha, A. K.; Gupta, R. P.; Arora, M. K. (2002). "*GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas*". International Journal of Remote Sensing, v. 23 n. 2, p. 357–369.

Santin, F. M.; da Silva, R. V.; Grzybowski, J. M. V. (2016). "*Artificial neural network ensembles and the design of performance-oriented riparian buffer strips for the filtering of nitrogen in agricultural catchments*". Ecological Engineering, Elsevier B.V., v. 94 , p. 493–502.

Soriano, É.; Hoffmann, W. A. M.; de Araujo, C. (2017). "*Gestão do Conhecimento aplicado aos desastres naturais : o caso da Defesa Civil*". Em questão, v. 23 n. 3, p. 207–227.

Trucco, F.; Lopez, E. (2016). "*Mexico landslides kill at least 40*". CNN, Atlanta.