

UTILIZAÇÃO DO MODELO HAND NO RECONHECIMENTO DOS TERRENOS SUJEITOS A INUNDAÇÃO – PORTO ALEGRE/RS

Using the HAND Model in Recognition of Flooding Areas - Porto Alegre/RS

Jonas Milanesi, Everton Luís Luz de Quadros & Regis Alexandre Lahm

¹Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS

LTIG - Laboratório de Tratamento de Imagens e Geoprocessamento

Avenida Ipiranga, 6681, Prédio 05, sala 306, Partenon, 90619-900, Porto Alegre, RS, Brasil
jonasmilanesi@gmail.com, {everton.quadros, lahm}@puers.br

Recebido em 21 de Novembro, 2015/Aceito em 2 de Fevereiro, 2017

Received on November 21, 2015/Accepted on February 2, 2017

RESUMO

Atualmente os meios de comunicação se tornaram veículos de notícias que relatam recordes de eventos climáticos extremos. Esta abundância de notícias que, talvez, retratem desafios socioambientais, parece revelar certa vulnerabilidade social a desastres. No espaço brasileiro se destacam eventos relacionados à precipitação. Neste contexto, o objetivo do presente artigo se divide em duas etapas, a saber: mapear terreno sujeito à inundação e identificar o perfil social em situação de vulnerabilidade em Porto Alegre/RS. Para mapear o terreno sujeito à inundação foi utilizado o modelo digital de terreno (MDT) oriundo da base altimétrica vetorial contínua de Porto Alegre/RS na escala 1:1.000 de 1982, e dados pluviométricos disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP. Foram utilizados os valores diários de precipitação. Para identificar o perfil social em situação de vulnerabilidade foram utilizadas informações socioeconômicas organizadas através de publicações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Observatório da cidade de Porto Alegre/RS, bem como pontos de inundação geocodificados por meio de notícias veiculadas pelos principais jornais da capital entre 2009 e 2015. Na metodologia foram utilizados o algoritmo *HAND* (*Height Above de Nearest Drainage*) do *software* livre *TerraHidro* desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que identifica áreas susceptíveis à inundação, e, o *software* livre *QGIS* para a edição de mapas. Dentre os resultados alcançados até o momento, ressalta-se que o relacionamento entre o mapa do terreno sujeito à inundação de Porto Alegre/RS, os pontos de inundação e os dados socioeconômicos possibilitou revelar, limitadamente, a vulnerabilidade social à inundação.

Palavras chaves: Inundação, *HAND* - *Height Above de Nearest Drainage*, Vulnerabilidade Social, Modelo digital de terreno – MDT.

ABSTRACT

Currently communication media have become vehicles of news reporting records of extreme weather events. This flood of news that perhaps portray social and environmental challenges seem to reveal a certain social vulnerability to disasters. In Brazil events related to precipitation stand out. In this context, the aim of this article is divided into two stages, namely: mapping land subject to mapping and identifying the social profile in vulnerable situations in Porto Alegre / RS. To map the subject to flooding land, we used the digital elevation model (DEM) derived from the continuous vector altimetry base of Porto Alegre / RS in scale 1: 1000, 1982, and rainfall data available on the website of the National Institute of Meteorology - INMET, in the Bank of Meteorological Data for Education and Research BDMEP. We used daily values of precipitation. To identify the social profile in vulnerable situations were used socio-

economic information organized through publications of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and the Observatory of Porto Alegre / RS, as well as geocoded flood points through news published by major newspapers of the capital between 2009 and 2015. In the methodology, we used the algorithm HAND (Height Above the Nearest Drainage) inside the free software TerraHidro, developed by the National Institute for Space Research (INPE), which identifies areas susceptible to flooding, and free software QGIS for editing maps. Among the results achieved so far, we emphasize that the relationship between the map of land subject to flood in Porto Alegre / RS, the flood points and socioeconomic data made it possible to reveal, narrowly, social vulnerability to flooding.

Keywords: Flood, HAND - Height Above the Nearest Drainage, Social vulnerability, Digital Elevation Model - DEM.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a sociedade tem se deparado frequentemente com relatos de recordes de eventos climáticos extremos por meio das mídias de comunicação (UNISDR, 2012). Fato este que reflete desafios e impactos socioambientais no cotidiano coletivo brasileiro, sobretudo, os relacionados à hidrologia.

Os impactos socioambientais no espaço brasileiro se destacam por eventos relacionados à precipitação e consequentemente agravam a situação de vulnerabilidade da população expostas ao risco de inundações. É fundamental compreender que a vulnerabilidade é um conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a probabilidade de um determinado grupo populacional sofrer os impactos dos perigos (UNISDR, 2015).

Neste contexto, o objetivo do presente artigo se divide em duas etapas, a saber: mapear terreno sujeito à inundação e identificar o perfil social em situação de vulnerabilidade à inundação em Porto Alegre/RS.

Na primeira etapa, foi realizada a delimitação do terreno sujeito à inundação, principalmente, por meio de modelagem hidrológica distribuída baseada na característica intrínseca do relevo a partir do modelo digital de terreno (MDT) da área de estudo.

Neste caso, para a modelagem hidrológica sobre o MDT foi utilizado o algoritmo *HAND* (*Height Above de Nearest Drainage*), traduzido por “altura acima da drenagem mais próxima”. O *HAND* foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) objetivando revelar áreas susceptíveis à inundação (ROSIN *et al.*, 2003; RENNO *et al.*, 2008; NOBRE *et al.*, 2011a).

A partir do modelo digital de terreno (MDT) o algoritmo *HAND* gera um modelo digital hidrológico que representa o terreno

sujeito à inundação, em formato *raster* e extensão (*.*GEOTIFF*). Em suma, trata-se de uma imagem digital que representa literalmente a altura da drenagem mais próxima, que na prática significa uma altimetria normalizada em relação à rede de drenagem da área de estudo. Portanto, no modelo hidrológico *HAND* o pixel com menor valor está mais próximo do talvegue da rede de drenagem, logo, representa maior suscetibilidade à inundação (RENNO *et al.*, 2008; NOBRE *et al.*, 2011a).

O *HAND*, enquanto método de modelagem hidrológica do terreno sujeito à inundação, está sendo estudado como preditor de risco de desastres hidrológicos (inundação e escorregamento de massa úmida), até mesmo a partir da delimitação de isolinhas de contorno do modelo hidrológico por ele produzido, sendo este um processo similar ao de extração de curvas de nível de um modelo digital de terreno (MDT), todavia, neste caso, cada isolinha representa a altura da drenagem mais próxima, e, portanto, quanto menor a cota da isolinha, maior será a suscetibilidade de inundação (NOBRE *et al.*, 2016).

No Brasil, para exemplificar a aplicação do algoritmo *HAND*, cita-se o projeto “Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas”. Neste projeto, durante 2008 a 2011, realizou-se um estudo interdisciplinar para se identificar vulnerabilidades às mudanças climáticas tendo como área de estudo as capitais de São Paulo e Rio de Janeiro, respectivamente, onde o algoritmo *HAND* foi aplicado para a delimitação do terreno sujeito à inundação numa escala cartográfica de 1:25.000 (NOBRE *et al.*, 2010).

Atualmente, o algoritmo *HAND* já alcançou visibilidade internacional no campo da hidrologia e gestão de risco. Por exemplo, nos Estados Unidos um estudo recente aplica o algoritmo *HAND* para delimitar o terreno sujeito à inundação de toda a extensão territorial do país,

utilizando resolução espacial de 10m, e escala de 1:24.000, segundo David Tarbonton (LIU *et al.*, 2016; ZHENG *et al.*, 2017).

Na Holanda o *HAND* foi aplicado em um estudo conjunto entre as empresas Deltares e FloodTags, e o Department of Water Engineering and Management - University of Twent. A equipe da Holanda aplicou o *HAND* na mesma linha de raciocínio desenvolvida no presente artigo, ou seja, relacionando dados físicos e dados sociais objetivando-se compreender não apenas a área de maior perigo de inundação, mas também, o perfil social da população inserida nesta área. Para isso, de modo a validar a delimitação do terreno sujeito à inundação, além da modelagem hidrológica, a equipe holandesa utilizou dados de eventos históricos de inundação coletados por meio de mídias sociais, como Twitter.

Já no caso de Porto Alegre/RS, relatado no presente estudo, a partir da delimitação do terreno sujeito à inundação, utilizando-se o algoritmo *HAND*, foi possível se identificar o perfil social da população em situação de vulnerabilidade, neste caso, com base numa base cartográfica em escala cadastral de 1:1000 e resolução espacial de 1m (HASENACK, H.; WEBER, E.J.; LUCATELLI, L.M.L, 2010), sendo este um importante diferencial do presente estudo, conforme descrito a seguir.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Basicamente o método aqui aplicado foi subdividido em duas etapas, sendo estas: (1) Análise do terreno sujeito à inundação, (2) Análise do perfil social em situação de vulnerabilidade à inundação em Porto Alegre/RS.



Na etapa 1, a Análise do terreno sujeito à inundação foi fundamentada no documento denominado “Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais” (ET-EDGV).

O ET-EDGV é um dos instrumentos de padronização que compõem o Sistema Cartográfico Nacional (SNC) e a Norma Cartográfica Brasileira (NCB), ambos outorgados pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) e Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), por meio do Decreto Presidencial nº 6.666, de 27 de novembro de 2008.

Segundo a ET-EDGV o plano de informação denominado “Terreno Sujeito à Inundação” é descrito como: “(...)uma área passível de inundação sazonal ou esporádica, decorrente de sua proximidade com cursos d’água” (BRASIL, 2017, p.68).

Para realizar a delimitação do terreno sujeito à inundação, por meio de modelagem hidrológica, é necessário um modelo digital de terreno (MDT) ou modelo digital de Superfície (MDS), que servem como arquivo de entrada (*input*) em *softwares* hidrológicos.

Neste caso, aqui foi utilizado um modelo digital do terreno (MDT), sendo este arquivo processado a partir da base altimétrica vetorial contínua de Porto Alegre/RS na escala 1:1.000 de 1982.

Esta base cartográfica altimétrica (Figura 1) foi digitalizada pela equipe do Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) do Centro de Ecologia da UFRGS, conforme disponível no site do LABGEO/UFRGS (HASENACK, H.; WEBER, E.J.; LUCATELLI, L.M.L, 2010).

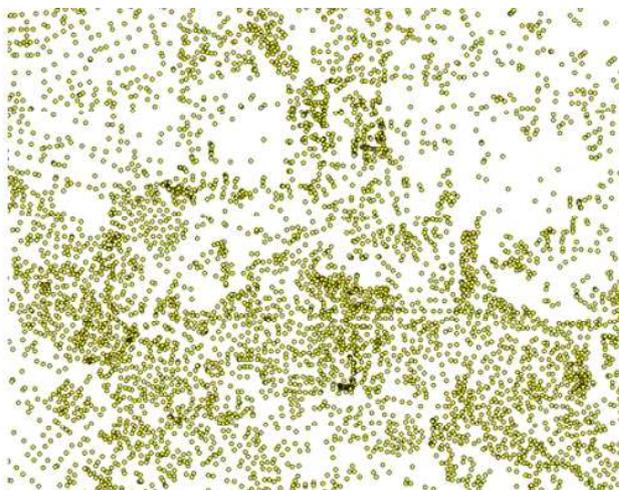


Fig. 1 – Curvas de nível equidistantes de 1x1 metro e pontos cotados de parte da região leste de Porto Alegre/RS.

Durante o processamento das informações altimétricas, converteram-se as curvas de nível para pontos, com uma distância de 2 metros entre as mesmas. No total foram gerados 24.813.495 (vinte e quatro milhões oitocentos e treze mil e quatrocentos e noventa e cinco) pontos a serem interpolados. Em virtude da quantidade expressiva de pontos foi necessário criar um grid com distâncias de 5x5 quilômetros com intuito de agilizar o processo de interpolação.

Estes dados foram processados no *software* livre *QGIS* fazendo-se o uso do método de interpolação *TIN (Triangulated Irregular Network)*, originando um modelo digital de terreno (MDT) do município de Porto Alegre com resolução espacial de 1x1 metro conforme se pode observar na Figura 2, a seguir. Além disso, também se pode observar as disparidades do relevo no município, por meio de um perfil longitudinal, no sentido noroeste, sudeste.

Segundo Nobre *et al.* (2011a) os modelos digitais de elevação (MDE), que é um termo genérico para MDT e MDS, são representações da realidade virtual da paisagem, podendo ser adquiridos através de radares, lasers, aviões ou de satélites. Na representação virtual podem ser aplicadas computações matemáticas para extração de dados como as bacias hidrográficas, redes de cursos d'água, declividades e outros.

Desta maneira, a partir das especificações técnicas da base vetorial contínua de Porto Alegre, o modelo digital de terreno (MDT) processado no *software QGIS* ficou com uma precisão geométrica de 1x1 metro de resolução. Esta informação impacta diretamente na qualidade do estudo, pois se reflete na modelagem hidrológica, possibilitando que sejam identificadas as áreas susceptíveis a inundação em escala cartográfica cadastral de 1:1000.

Considerando os milhões de pontos interpolados para gerar o MDT (**.GEOTIFF*), este arquivo resultou em um tamanho físico de 8.94 Gigabytes.

Contudo, a base altimétrica vetorial contínua de Porto Alegre/RS é originalmente disponibilizada pelo LABGEO/UFRGS no sistema de coordenadas *UTM (Universal Transversa de Mercator)* no fuso 22, referidos ao Datum SAD 69 (*South American Datum 1969*). Por isso, para seguir as normas cartográficas vigentes na América Latina, todos os dados cartográficos utilizados neste estudo foram projetados para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), já que o mesmo é considerado o sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para as atividades da Cartografia Brasileira.

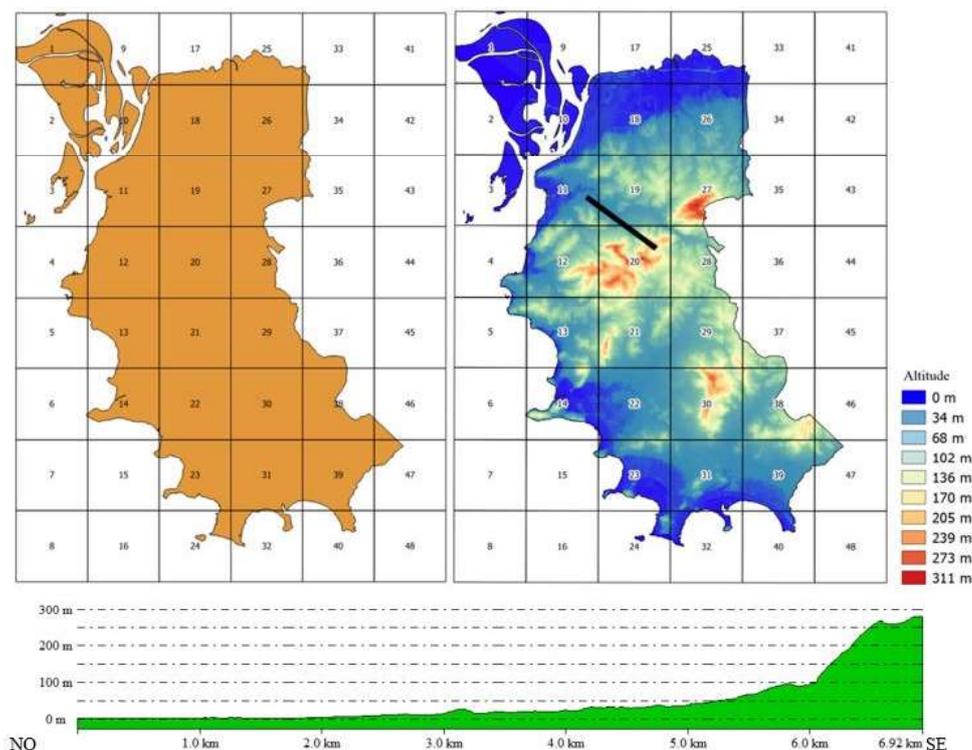


Fig. 2 – Modelo digital de terreno de 1x1 metro do município de Porto Alegre, e Perfil Longitudinal.

A partir do MDT, conforme citado anteriormente, o principal método aqui utilizado para a modelagem do terreno sujeito à inundação teve como base o algoritmo *HAND* desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

HAND é uma sigla em inglês para “*Height Above the Nearest Drainage*”, que pode ser traduzida como “altura acima da drenagem mais próxima”. Na prática o *HAND* permite o mapeamento de áreas de perigo à inundação (ROSIN *et al.*, 2003; RENNO *et al.*, 2008; NOBRE *et al.*, 2011a, NOBRE *et al.*, 2016).

O algoritmo *HAND* parte do princípio de que a água faz o trajeto mais curto em relação aos terrenos mais baixos, computando as diferenças de desníveis entre o relevo e o talvegue das redes de drenagens superficiais (NOBRE *et al.*, 2011a). Para se processar a modelagem *HAND* o INPE desenvolveu o *pluguin* denominado *TerraHidro*, contendo a ferramenta “*Hydrological Tools*”. Este *pluguin* foi integrado no *software* livre *Terra View* desenvolvido pelo próprio INPE. O *pluguin TerraHidro*, atualmente na versão 4.5, permite que sejam gerados dados hidrológicos como

rede de drenagem, bacias hidrográficas e o próprio *HAND*, todos a partir de um modelo digital de elevação (MDE), exclusivamente.

No *software TerraHidro*, na primeira etapa, foram realizadas correções de incoerências altimétricas no MDT adicionado. Na segunda etapa, o algoritmo *HAND* identifica as direções dos fluxos de drenagem, ou seja, a direção por onde a água possivelmente irá escoar no MDT. Na terceira etapa, é calculada a área de acumulação de água. Na quarta etapa, foi extraída a rede de drenagem a partir de um limiar de 25000 estabelecidos pelos autores. O limiar define o nível de detalhamento da rede de drenagem, ou seja, o acúmulo acima desse limiar é considerado drenagem (Figura 3).

Dessa forma, utilizou-se o *TerraHidro* para se produzir as principais modelagens hidrológicas necessárias para a delimitação de terrenos sujeitos à inundação, sendo estas: Mapa de Fluxo da Drenagem (*.*GEOTIFF*), Mapa de Área de Contribuição (*.*GEOTIFF*), Mapa de Rede de Drenagem (*.*GEOTIFF*), Mapa de Micro Bacias (*.*GEOTIFF* e *.*SHP*), Mapa de Trechos de Drenagem (*.*SHP*) e o *HAND* (*.*GEOTIFF*).

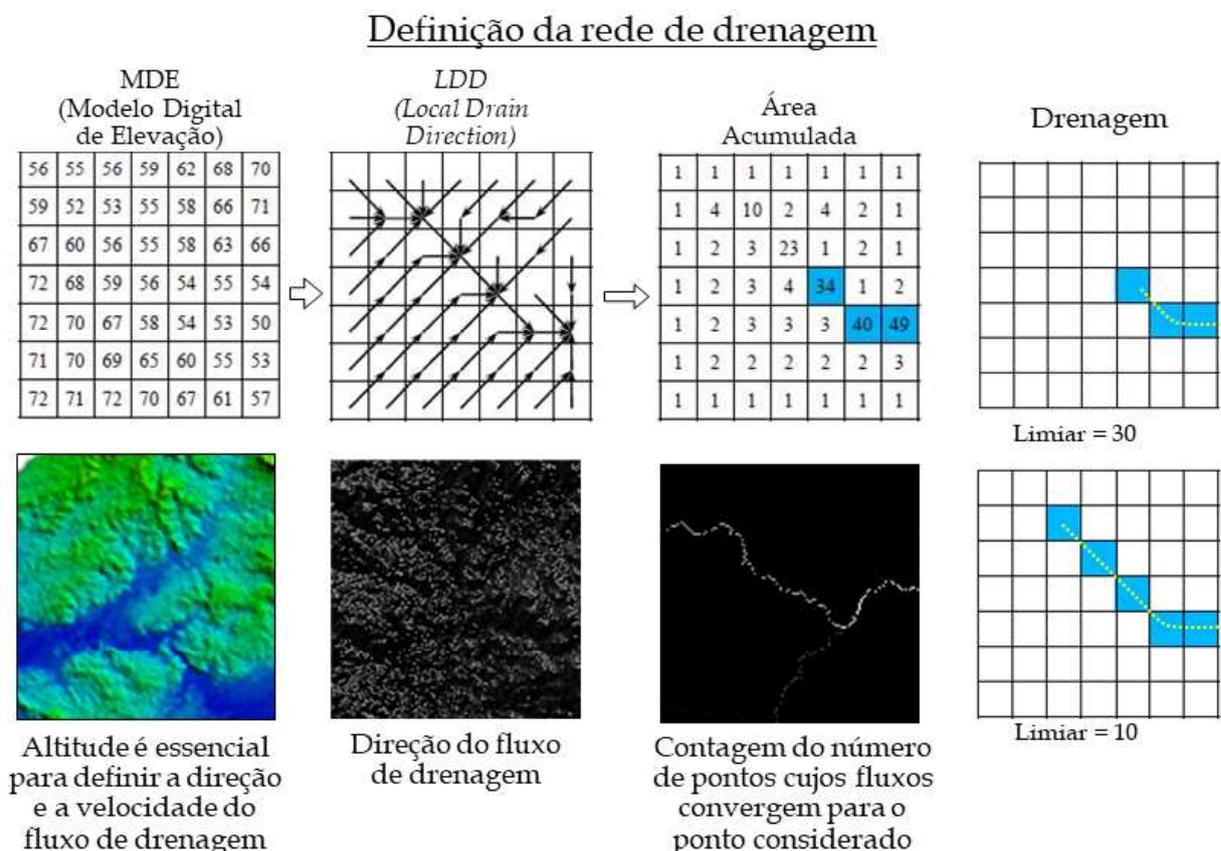


Fig. 3 – Exemplo de definição da rede de drenagem. Fonte: Renno *et al.*, 2008.

Sobre a imagem *HAND* efetuou-se uma reclassificação visando revelar diferentes zonas que representam níveis potenciais de risco à inundação (NOBRE *et al.*, 2016; LIU *et al.*, 2016; ZHENG *et al.*, 2017). Para isso, utilizou-se o *software QGIS*, com a ferramenta “Renderização da Banda”.

A imagem *HAND* foi zoneada em 05 (cinco) classes, que representam áreas potenciais de risco à inundação, sendo elas: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta susceptibilidade à inundação, sendo estas:

- Susceptibilidade Muito Alta – 0 m;
- Susceptibilidade Alta – 0,25 m;
- Susceptibilidade Média – 0,50;
- Susceptibilidade Baixa – 0,75;
- Susceptibilidade Muito Baixa – 1 m.

Para validar a modelagem hidrológica do terreno sujeito à inundação foi realizado um cruzamento de duas informações elementares, sendo elas: eventos históricos de inundação referentes às notícias vinculadas à mídia (jornais e rede social), e a quantidade de chuva (mm) ocorridas nas datas em que as reportagens foram publicadas (BROUWER *et al.*, 2016).

Os eventos históricos foram coletados de múltiplas mídias digitais (jornais e redes sociais), por exemplo por meio de reportagens que relatavam endereços em que ocorreram inundação em Porto Alegre/RS no período entre 2009/2015. Dentre as fontes de eventos históricos estão jornais da capital e Twitter. Os eventos históricos foram mapeados por meio de técnicas de geocodificação, que significa conversão de endereços postais em latitude/longitude.

Isto possibilitou validar a modelagem hidrológica resultante do algoritmo *HAND* que apresentou resultados tecnicamente coerentes entre a rede de drenagem delimitada e os eventos históricos de inundações informados pela mídia em Porto Alegre/RS.

Complementando a etapa 1, foi realizada a análise pluviométrica da área de estudo sendo utilizados os dados disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP, a partir dos valores diários de precipitação.

Os dados pluviométricos foram coletados no site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, disponível no Banco de Dados

Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP, sendo utilizados os valores diários de precipitação. Também foram utilizadas as tabelas de medição diária da precipitação, disponibilizadas pelo Centro Integrado de Comando da Cidade de Porto Alegre (CEIC), onde é possível coletar informações do volume de chuva de alguns bairros.

Estas informações sobre eventos históricos e taxas pluviométricas foram armazenadas em uma planilha, com os seguintes elementos: Local; o Bairro onde se encontra; o quanto que choveu (mm) por Bairro; Chuva (mm) 8º Distrito; Fonte; o *link* da reportagem; Data; Complemento e coordenadas do local.

Na etapa 2, o perfil social em situação de vulnerabilidade à inundação foi realizado por meio das informações socioeconômicas disponíveis nas publicações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Observatório da cidade de Porto Alegre/RS.

Após estas etapas, foi possível estabelecer o relacionamento espacial para identificar o perfil da sociedade vulnerável à inundação. Em todas as etapas elencadas foi utilizado o *software* livre *QGIS* para a edição de mapas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os resultados alcançados neste estudo ressalta-se a que metodologia aqui investigada permitiu a representação cartográfica do plano de informação geoespacial vetorial denominado “Terreno Sujeito à Inundação”, conforme o documento ET-EDGV. Além disso, possibilitou o relacionamento entre o mapa do terreno sujeito à inundação de Porto Alegre/RS, os eventos históricos de inundação e os dados socioeconômicos revelando, ainda que limitadamente, a vulnerabilidade social à inundação em escala cadastral de 1:1000.

O *software* livre *TerraHidro*, desenvolvido pelo INPE, revelou-se em uma ferramenta eficaz para o processo de aquisição cartográfica de planos de informação geoespacial associados às áreas de Hidrologia e Hidrogeologia.

A possibilidade de uma análise espacial entre os eventos de inundação veiculados pela mídia e o terreno sujeito à inundação modelado pelo *HAND* foi viabilizada tendo em vista a qualidade e precisão geométrica do MDT gerado para este estudo.

Assim, a presente pesquisa teve como desafio considerar a escala cartográfica dos dados a serem modelados já que se trata de um estudo de inundações urbanas. Perante os esforços realizados no projeto, foram gerados produtos cartográficos, com o objetivo de representar cartograficamente locais e populações susceptíveis a inundação em Porto Alegre/RS.

Na Figura 4, apresentada a seguir, o *HAND* foi classificado nas cinco categorias de susceptibilidade, citadas: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta susceptibilidade à inundação. É importante ressaltar que foi utilizado um modelo digital de terreno (MDT) e não um modelo digital de superfície (MDS).

A utilização de um MDS consideraria as edificações, árvores e entre outras informações presentes na superfície do terreno, talvez, resultando em um modelo de escoamento superficial com melhor detalhamento.

No entanto, o resultado do algoritmo *HAND* utilizando um MDT, já que até então não havia um MDS disponível, apresentou resultados positivos quando comparados com a realidade

da área de estudo.

Fazendo uma análise da Figura 4 é possível observar que nos grandes corpos d'água, como o Lago Guaíba localizado a oeste e o Arroio Dilúvio ao centro do mapa, ficaram classificados como susceptibilidade muito alta, atribuindo certa confiabilidade no método aplicado. Também pode-se notar o adensamento das classificações de muito alta, alta e média susceptibilidade à inundação nas áreas mais planas. Isto, talvez demonstre que haja algum tipo de relacionamento entre a vulnerabilidade à inundação e a ocupação urbana localizada nas planícies e várzeas de rios/arroios.

É possível observar que em algumas regiões de topo de morro apresentam uma susceptibilidade muito alta a inundação. Isso demonstra que o método de identificação das áreas susceptíveis a inundação, não se associa necessariamente as regiões com menores altitudes, mas sim, em lugares de baixios onde o acúmulo d'água pode acontecer de acordo com a topografia do local, conforme podemos observar na região nordeste localizada na Figura 4.

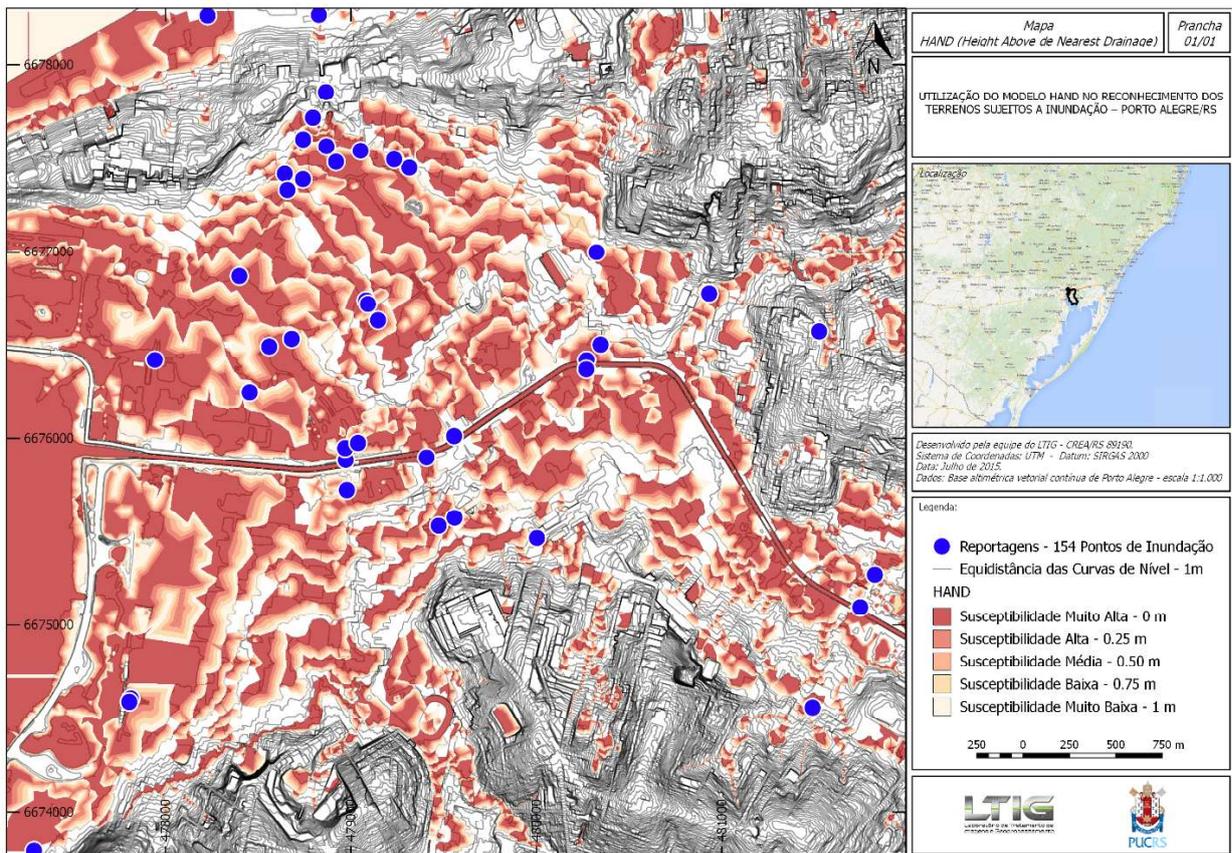


Fig. 4 – Mapa das áreas inundáveis do município de Porto Alegre através do *HAND*.

Durante o desenvolvimento do estudo aqui relatado, apenas no período de 2009 a 2015 foram identificados 154 (cento e cinquenta e quatro) eventos históricos de inundação segundo as reportagens coletadas da mídia digital (jornais e redes sociais).

Os eventos históricos de inundação identificados foram mapeados e sobrepostos ao *HAND*, por meio de um arquivo em formato vetorial *SHAPEFILE* (*.SHP) utilizando a topologia de pontos conforme se identifica na Figura 4, tendo sido representados no mapa pela cor azul.

Dessa maneira, foi possível identificar que cerca de 98% dos eventos históricos de inundação mapeados ficaram entre a classificação de susceptibilidade muito alta 0 m e alta 0,25 m (Figura 4), conforme modelada pelo *software* TerraHidro com o algoritmo *HAND*.

Além disso, foi possível identificar que os eventos históricos de inundação em Porto Alegre/

RS, dentro do período de 2009/2015, além de informar a localização dos pontos de inundação colaboraram para a validação da modelagem hidrológica do terreno sujeito à inundação processada por meio do algoritmo *HAND* desenvolvido pelo INPE (Figura 5). Conforme citado anteriormente, as reportagens sobre eventos históricos de inundações em Porto Alegre/RS utilizadas no presente estudo foram coletadas de mídias digitais (jornais e redes sociais), onde dentre as fontes estão os principais jornais da capital, para o período de novembro de 2009 até julho de 2015.

Estas informações foram armazenadas em uma planilha, com os seguintes elementos: ID; Local; o Bairro onde se encontra; Chuva (mm); Fonte; o *link* da reportagem; Acesso; Complemento e coordenadas do local.

Até o presente momento foram identificados pontos de inundação informados pelas seguintes fontes: Zero Hora, G1, Correio do Povo, Gaúcha, Facebook e Twitter.

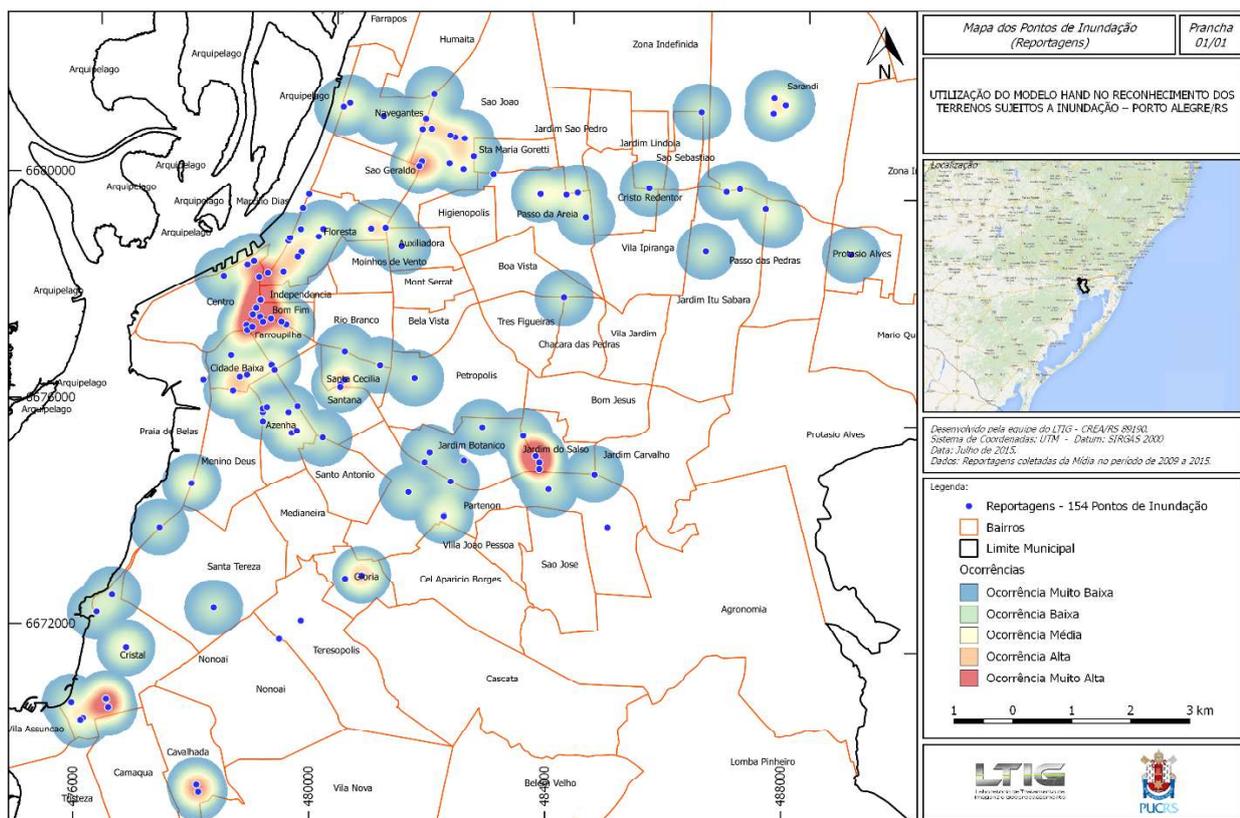


Fig. 5 – Mapa dos pontos de inundação segundo as reportagens coletadas da mídia.

Segundo o site da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, o município contém 81 bairros criados por lei. As reportagens encontram-se concentradas nas áreas de maior fluxo e

densamente urbanizadas, abrangendo 34 bairros (Figura 6). Dentre os bairros com um número de reportagens acima de 10 ocorrências, podemos citar: São João, Floresta, Cristal e Centro.

Tanto nas reportagens coletadas da mídia quanto no resultado obtido pelo algoritmo *HAND*, alguns dos pontos foram validados com visitas a campo.

Todos os dados estão produzidos por este estudo estão sendo disponibilizados para as secretarias municipais de Porto Alegre que atuam na gestão urbana de mobilidade, defesa civil, meio ambiente e esgoto pluviais, principalmente, tendo sido estabelecido contato, também, com o Centro Integrado de Comando da Capital (CEIC).

Pelo menos 3 (três) registros foram realizados na Rua Professor Cristiano Fischer próximo à Avenida Ipiranga, onde o acúmulo d'água tem sido frequente conforme reportagens, utilizadas pelo estudo (Figura 7).

Dentre os bairros de Porto Alegre foi possível verificar que nas proximidades dos Bairros Farroupilha, Bom Fim e Cidade Baixa, há concentrações de eventos de inundação segundo as reportagens, ficando entre as classes *HAND* denominadas, desde, Muito Alta, Alta e Média susceptibilidade a inundação (0,00 m até 0,50 m).

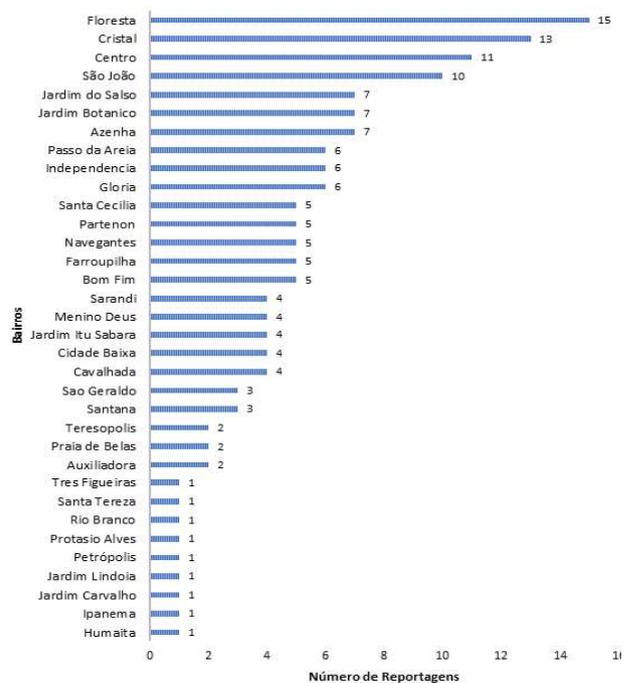


Fig. 6 – Número de reportagens por bairros – Nov. 2009 até Jul. 2015. Fonte: Zero Hora, G1, Correio do Povo, Gaúcha, Facebook e Twitter. Modificado pelos autores.



Fig. 7 – Ponto de Inundação na Rua Professor Cristiano Fischer próximo à Avenida Ipiranga. Fonte: Os autores, fotografia registrada no dia 27/05/2015.

Correlacionando as áreas inundáveis com dados socioeconômicos disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE do Censo Demográfico aplicado em 2010, identificamos o perfil da população que ali reside.

Tratando-se do referido local de estudo, com base nos dados de trabalho e renda, foram identificados na maioria da população, pessoas residentes com renda maior que 10 salários

mínimos, sendo que, entre os responsáveis por domicílios prevalecem mulheres, com um percentual de 55,00 % até 59,47 %, enquanto os homens 40,53% até 50,00 % (Figura 8).

Nesta região, há predomínio de apartamentos (4.348), enquanto o número de casas é de 613, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE do Censo Demográfico aplicado em 2010.

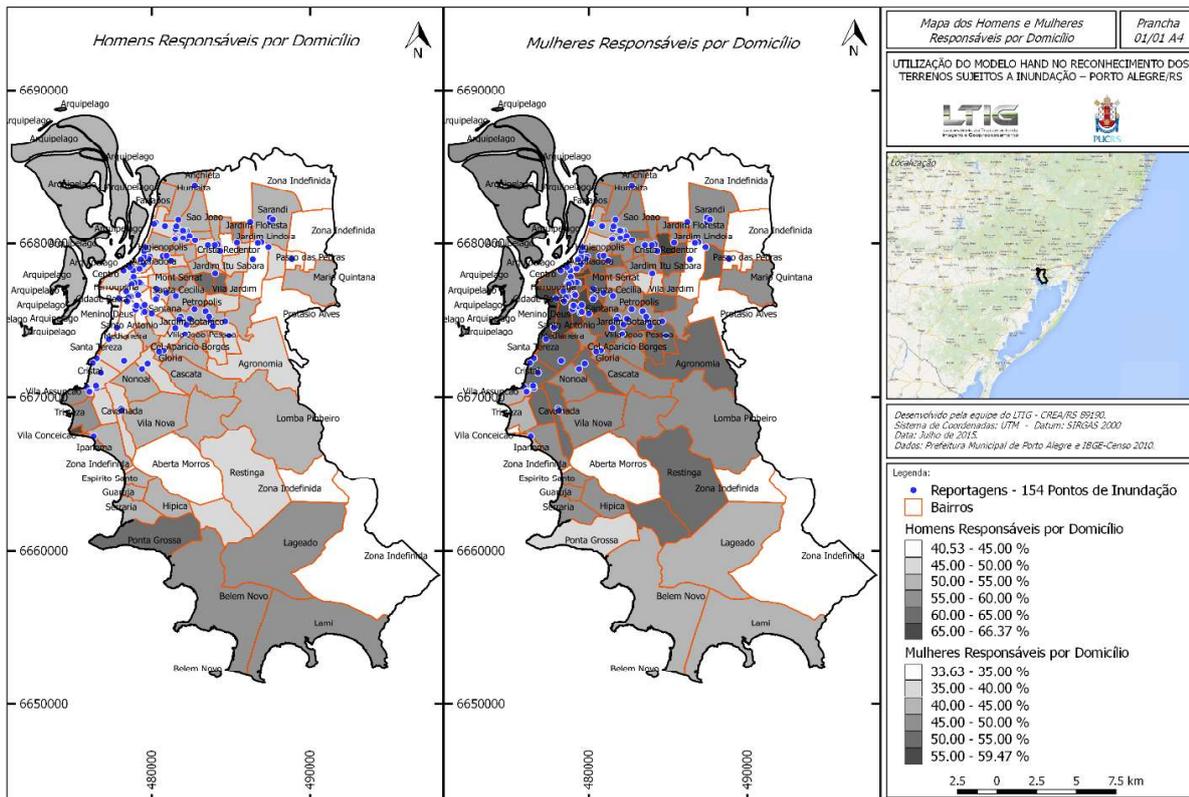


Fig. 8 – Mapa dos Homens e Mulheres Responsáveis por Domicílio.

Além disso, foram gerados produtos cartográficos referentes à taxa de analfabetismo dos bairros de Porto Alegre segundo o censo de 2010. Pode-se observar na Figura 9 que três

bairros se destacam com níveis altíssimos de pessoas com 15 anos ou mais analfabetas, sendo eles, o Bairro Sarandi com um valor entre 2000 – 2437, Santa Tereza e Restinga com 1500 – 2000.

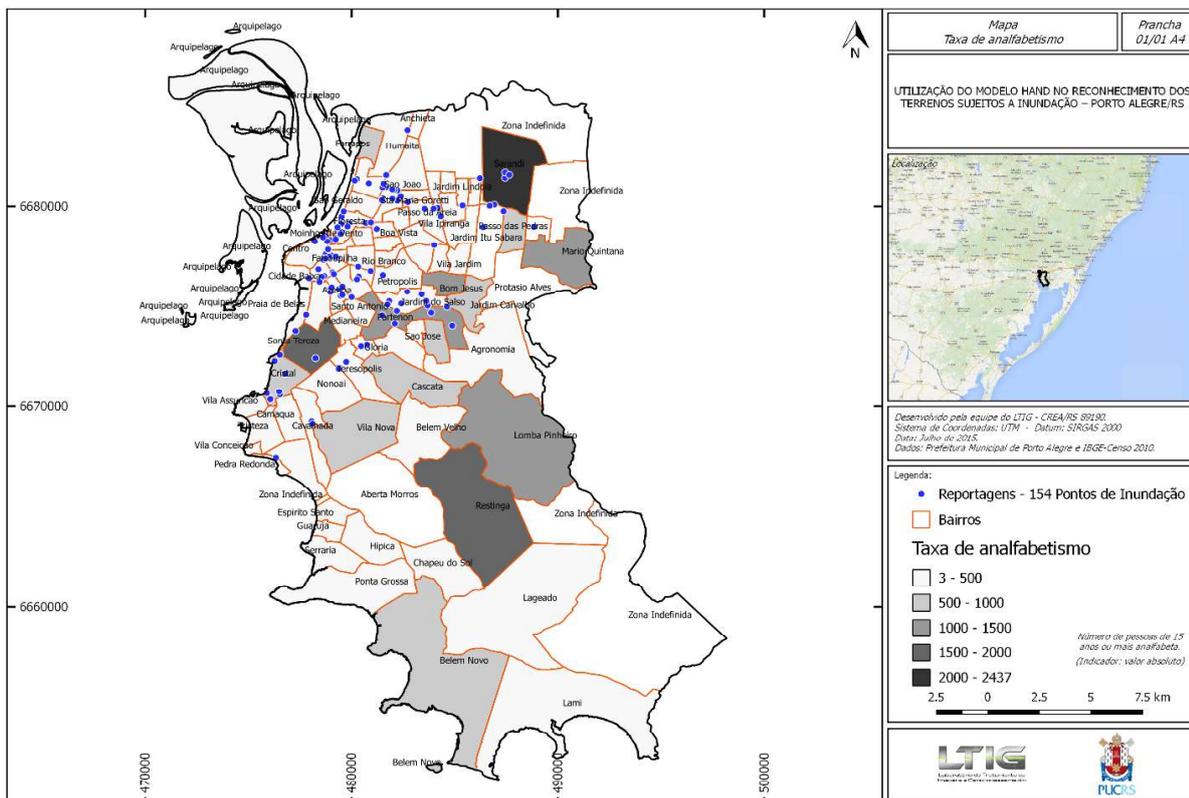


Fig. 9 – Mapa da Taxa de Analfabetismo por bairros em Porto Alegre.

Cabe destacar que IPNPE, para desenvolver o algoritmo *HAND*, utilizou modelos altimétricos do terreno com resolução espacial próxima de 90m (*SRTM-Shuttle Radar Topography Mission*), segundo Nobre *et al.*, 2011a. Entretanto, neste estudo foram usadas informações altimétricas com resolução espacial de 1 metro.

O modelo *HAND* gerado pelo *TerraHidro*, sobre o MDT com resolução espacial de 1m, resultou em melhor detalhamento das áreas com potencialidade de risco à inundação, mas, foram identificadas áreas de alto potencial de risco à inundação em regiões localizadas sobre o “planalto”. Se entende aqui por “planalto” áreas de platôs de maior altitude, que antecedem as encostas, onde é possível encontrar as nascentes dos trechos de drenagem.

Durante revisão bibliográfica realizada por meio da rede mundial de computadores (*www*) não foi encontrado nenhum trabalho que mencionasse o uso do algoritmo *HAND* em escala cadastral de 1:1.000.

Ressalta-se que o *HAND* de Porto Alegre/RS, originado da altimetria 1:1.000 do Diagnóstico Ambiental Municipal, apresentou algumas incoerências quanto ao escoamento d’água em relação às leis de modelado terrestre. Esta incoerência pode estar relacionada com a complexidade que compõe a infraestrutura urbana, sobretudo, em escala cadastral. Tal desafio, talvez, possa ser vencido utilizando-se bases cartográficas mais precisas, por exemplo com 10x10cm de resolução.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados preliminarmente alcançados, pode-se concluir que a metodologia aqui apresentada demonstra objetivamente a possibilidade de se estabelecer relação espacial entre o *HAND*, enquanto representação cartográfica do Terreno Sujeito à Inundação, e dados socioeconômicos.

Em vista do desafio inerente ao mapeamento em escala cadastral de 1:1.000 constatou-se que o resultado obtido pela metodologia *HAND* foi satisfatório a partir das análises realizadas pela pesquisa.

As reportagens coletadas da mídia sobre os principais pontos de inundação na Capital possibilitaram validar os resultados alcançados pelo algoritmo *HAND*. Entretanto, é de extrema

importância levar em consideração a qualidade do Modelo Digital de Elevação, pois o mesmo indicará a escala de análise do projeto.

Cabe salientar que o *software TerraHidro* é gratuito e que se trata de tecnologia nacional, aspectos que facilitam seu uso por gestores brasileiros que necessitem aplicar este método a outras áreas de estudo ou outros dados. É válido salientar também o fato de que existe o desafio de desenvolvimento de um modelo hidrogeológico que consiga considerar as diferentes unidades geomorfológicas e que seja aplicável gratuitamente em escalas não superiores à 1:1000.

A partir dos resultados alcançados sugere-se a replicação da metodologia *HAND* em futuras análises de vulnerabilidade social a desastres em escala cadastral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROUWER, T.; EILANDER, D.; LOENEN, VAN A.; BOOIJ, J. M.; WIJNBERG, K. M.; VERKADE, J. S.; WAGEMAKER, J. Probabilistic Flood Extent Estimates from Social Media Flood Observations. **Natural Hazards and Earth System Sciences**. 2017. p.17, 735–747. doi:10.5194/nhess-17-735-2017.

HASENACK, H.; WEBER, E.J.; LUCATELLI, L.M.L. **Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica**. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia, p. 7, 2010. ISBN 978-85-63843-03-6. Disponível em <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso: 06 de setembro de 2017.

LIU, YAN & MAIDMENT, DAVID & TARBOTON, DAVID & ZHENG, XING & YILDIRIM, AHMET & SAZIB, NAZMUS & WANG, SHAWEN. A CyberGIS Approach to Generating High-resolution Height Above Nearest Drainage (HAND) Raster for National Flood Mapping. **CyberGIS 16**, Urbana, p. 24-26, Illinois, July 2016. Disponível em <<http://dx.doi.org.10.13140/RG.2.2.24234.41925/1>>. Acesso: 06 de setembro de 2017.

BRASIL. **ET EDGV Defesa F Ter - Norma da especificação técnica para estruturação de dados geospaciais vetoriais de defesa da força terrestre**. Ministério da Defesa,

- Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia. 2ed., p. 295, 2017. Disponível em:<<http://www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2?id=13>>. Acesso: 06 de setembro de 2017.
- NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C.D; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. (2011a). Height Above the Nearest Drainage - a hydrologically relevant new terrain model. **Eselvier - Journal of Hydrology**, v.404, 2011. p.13–29 2011. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.03.051.
- NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R.; SEVERO, D. L.; PINHEIRO, A.; NOBRE, C. A. HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. **Hydrological Process**, v.30, n.2, p. 320–333, 2016.
- NOBRE, C. A.; YOUNG, A. F.; SALDIVA, P.; MARENGO, J. A. NOBRE, A. D.; ALVES, S. Jr., SILVA, da G. C. M.; LOMBAR, M. **Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo - Sumário Executivo**. INPE, UNICAMP, USP, IPT, UNESP, p. 32, São Paulo, 2010.
- RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Eselvier - Remote Sensing of Environment**, v.112, n.9, p. 3469-3481, 2008.
- ROSIM, S.; MONTEIRO, A. M. V.; RENNÓ, C. D.;
- SOUZA, de R. C. M.; SOARES, J. V. Terrahidro - Uma plataforma computacional para o desenvolvimento de aplicativos para a análise integrada de recursos hídricos. XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 2003. **Anais**. p. 2589–2596, 2003.
- UNISDR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Como Construir Cidades Mais Resilientes**
- Um Guia para Gestores Públicos Locais**. Genebra: UNISDR, p. 120, 2012.
- UNISDR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres (GAR)**. Genebra: UNISDR, p. 352, 2015.
- ZHENG, X., TARBOTON, D., MAIDMENT, D., LIU, Y., PASSALACQUA, P. River channel geometry and rating curve estimation. Using height above the nearest drainage. Submitted to the **Journal of the American Water Resources Association**, May, 2017. p. 34.