

Mapeamento das áreas suscetíveis à inundação, município de Pedro Osório-RS

Mapping of Areas Subsequent to Flooding, Municipality of Pedro Osório-RS

Mapeo de las Áreas Suscriptibles a la Inundación, Municipio de Pedro Osório-RS

Angélica Cirolini

Universidade Federal de Pelotas
acirolini@gmail.com

Alexandre Felipe Bruch

Universidade Federal de Pelotas
afbruch@gmail.com

Adriane Brill Thum

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
adrianebt@unisinis.br

Marciano Carneiro

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
marciano.carneiro@hotmail.com

Resumo

Os danos e prejuízos causados pelas inundações apresentam um gradual aumento nos últimos anos. Muitas vezes os motivos causadores destes desastres reportam-se ao crescimento desordenado e a ocupação do leito maior dos rios. Atualmente técnicas de geoprocessamento são utilizadas para identificar e quantificar as áreas atingidas pelas inundações urbanas. Nesta perspectiva, este estudo visa elaborar o mapeamento das áreas de inundação da zona urbana do município de Pedro Osório, RS, a partir de técnicas de geoprocessamento. Com o auxílio de um receptor GNSS, foram coletados 22.734 pontos no modo cinemático em todas as ruas da área urbana, posteriormente realizados 19 voos com um VANT para a coleta de dados fotogramétricos sobre os quais foram elaborados os mapas temáticos das áreas de inundação, por meio de SIG. A elevação do nível da água dos rios pode atingir até 16 m acima do nível de referência, quando alcança a cota topográfica de 29,82m, ocorrido em 1992, correspondendo à uma área inundada de 55,36% da zona urbana do município. Os resultados deste trabalho provenientes do mapeamento das cotas de inundação permite o monitoramento das áreas mais suscetíveis à ocorrência do fenômeno e auxilia a gestão pública no planejamento urbano e construção de possibilidades de mitigação dos impactos do evento.

Palavras-chave: Área de Inundação; GNSS; VANT; Mapa Temático

Abstract

The damage and damage caused by the floods has gradually increased in recent years. Often the causes of these disasters relate to the disorderly growth and occupation of the greater river bed. Currently geoprocessing techniques are used to identify and quantify the areas affected by urban floods. In this perspective, this study aims to elaborate the mapping of the flood areas of the urban area of the municipality of Pedro Osório, RS, based on geoprocessing techniques. With the aid of a

GNSS receiver, 22,734 points were collected in the kinematic mode on all streets of the urban area, followed by 19 flights with a UAV for the collection of photogrammetric data on which the thematic maps of the flood areas were elaborated of GIS. The elevation of the water level of the rivers can reach up to 16 m above the reference level, when it reaches the topographic quota of 29.82 m, which occurred in 1992, corresponding to a flooded area of 55.36% of the urban area of the municipality. The results of this work from the mapping of flood quotas allows the monitoring of the areas most susceptible to the occurrence of the phenomenon and helps public management in urban planning and construction of possibilities to mitigate the impacts of the event.

Keywords: Flood Area; GNSS; UAV; Thematic map

Resumen

Los daños y perjuicios causados por las inundaciones presentan un gradual aumento en los últimos años. Muchas veces los motivos causantes de estos desastres se refieren al crecimiento desordenado y la ocupación del lecho mayor de los ríos. Actualmente se utilizan técnicas de geoprocésamiento para identificar y cuantificar las áreas afectadas por las inundaciones urbanas. En esta perspectiva, este estudio busca elaborar el mapeamiento de las áreas de inundación de la zona urbana del municipio de Pedro Osório, RS, a partir de técnicas de geoprocésamiento. Con la ayuda de un receptor GNSS, se recolectar 22.734 puntos en modo cinemático en todas las calles del área urbana, posteriormente se realizaron 19 vuelos con un VANT para la recolección de datos fotogramétricos sobre los que se elaboraron los mapas temáticos de las zonas de inundación, medio de SIG. La elevación del nivel del agua de los ríos puede alcanzar hasta 16 m por encima del nivel de referencia, cuando alcanza la cota topográfica de 29,82m, ocurrida en 1992, correspondiendo a un área inundada del 55,36% de la zona urbana del municipio. Los resultados de este trabajo provenientes del mapeo de las cuotas de inundación permiten el monitoreo de las áreas más susceptibles a la ocurrencia del fenómeno y auxilia la gestión pública en la planificación urbana y la construcción de posibilidades de mitigación de los impactos del evento.

Palabras clave: Área de Inundación; GNSS; UAV; Mapa Temático

Introdução

Com o passar dos anos um dos fatores que vem sendo bastante discutidos, quando fala-se em desastres é a ocorrência de inundações, sendo esta agravada devido ao fato do crescimento populacional e da urbanização, uma vez que aumenta a impermeabilização do solo e o escoamento superficial, causando danos e prejuízos nas áreas atingidas.

Outro agravante é a intervenção antrópica, a partir da alteração dos cursos d'água e a ocupação de áreas nas planícies de inundação e próximas aos rios, principalmente pela população com vulnerabilidade social. Em regiões tropicais, devido às características físico-naturais, eventos de inundações e enxurradas decorrentes de chuvas intensas são ocorrências comuns. Elas são causadas pelo comportamento natural dos rios, mas ampliadas pela ação antrópica, principalmente pela urbanização e, em alguns casos, a canalização dos rios ou alteração do curso normal.

Os rios normalmente drenam a montante da bacia hidrográfica, áreas com maior declividade produzindo escoamento de alta velocidade. A variação de nível durante a enxurrada pode ser de vários metros em poucas horas. Quando o relevo é íngreme, as áreas mais propícias à ocupação são as planas e mais baixas, justamente aquelas que apresentam alta suscetibilidade à inundação. A várzea de inundação de um rio cresce significativamente nos seus cursos médio e baixo, onde a declividade reduz e aumenta a incidência de áreas planas (TUCCI, 2002).

O município de Pedro Osório possui sua área urbana construída às margens do rio Piratini, ocorrendo intensa ocupação da planície de inundação. Nessa áreas há a redução da mata ciliar, a intensificação dos depósitos de lixo à margem dos rios e a impermeabilização do solo pela construção de ruas e calçadas. Ocorre também o aumento na carga de sedimentos resultando no assoreamento dos rios.

Os registros históricos das inundações neste município apontam que o maior evento ocorreu no ano de 1992 e gerou grandes perdas à comunidade. O ano de 1992 representa um período de *El Niño*, fenômeno com características relacionadas ao aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial.

Nesta perspectiva, este estudo visa mapear as áreas suscetíveis à inundação, a partir de fotografias aéreas obtidas por veículo aéreo não tripulado (VANT), levantamento geodésico com receptor de Global Navigation Satellite System (GNSS) e ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Para analisar e delimitar as áreas com suscetibilidade de inundações torna-se importante o estudo da topografia e a simulação dos níveis de inundação, gerando um mapa com as áreas suscetíveis à inundação e fornecendo, à administração pública, subsídios para a tomada de decisão e planejamento urbano.

Mapeamento das áreas de inundação

Muitas vezes há certa dúvida conceitual quando fala-se em inundação, enxurrada ou alagamento, então segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) proposta em 2012, os mesmos se enquadram na categoria de desastre natural, grupo hidrológico, no qual possuem abordagens distintas. As inundações referem-se a submersão da planície de inundação ou área de várzea a partir do transbordamento gradual de determinada drenagem em consequência de chuvas prolongadas. As enxurradas, inundações bruscas, são caracterizadas pelo escoamento superficial em alta velocidade e energia, provocadas por chuvas intensas e concentradas, fazendo com que ocorra a elevação súbita das vazões de um canal ocasionando o transbordamento brusco do mesmo. E, por fim, alagamento é o acúmulo temporário da água em determinados locais, como

ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, ocasionados pela deficiência do sistema de drenagem.

Alguns autores trabalham com técnicas de geoprocessamento para identificar e quantificar as áreas atingidas pelas inundações.

O mapeamento das planícies de inundação através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) consiste basicamente no relacionamento entre o modelo digital de terreno (MDT) da área em estudo, também chamado de modelo numérico de terreno (MNT), e os perfis da linha d'água dos eventos de cheia com diferentes probabilidades de excedência (CPRM, 2004).

Como o município de Pedro Osório registra eventos que se enquadram na categoria de desastre natural por inundação de maneira eventual, muitas vezes as medidas preventivas não são asseguradas, este fato também foi constatado por Tucci e Bertoni (2003) e comprovam que quando a frequência das inundações é baixa, a população ganha confiança e despreza o risco, aumentando o investimento e a densificação nas áreas inundáveis, fazendo com que as enxurradas assumem características catastróficas.

O mapeamento das áreas atingidas pelas inundações representa um recurso importante para os órgãos públicos no intuito de orientar o direcionamento da expansão urbana e do uso e ocupação do solo.

Um dos pontos positivos dos mapas de risco, conforme Andjelkovic (2001), é que, tendo por base os mesmos, pode-se iniciar a construção de estruturas que previnam os danos, alertar atuais e futuros proprietários de terras sujeitas às inundações, bem como auxiliar as autoridades e tomadores de decisões a desenvolver novas ideias de desenvolvimento sustentável para estas áreas.

Barbosa; Oliveira; Alves (2011) definiram áreas de riscos como locais que não são propícios à construção de casas, pois estão sujeitas a desastres naturais como movimento de massa e inundações. Estas áreas, em consequência de condições adversas do tempo, tendem a tornarem-se cada vez mais perigosas para ocupação humana, devido a ações antrópicas e edificações urbanas, como por exemplo: alteração de cursos d'água, deposição inadequada do lixo, ocupação de margens de rios, entre outros.

Saito *et al.* (2011) ressaltam a importância das técnicas de geoprocessamento no gerenciamento de informações sobre desastres naturais, quando dizem que o gerenciamento das inúmeras informações relacionadas aos desastres naturais, como por exemplo, quantidade de precipitação, velocidade dos ventos, população e área afetada, pode ser feito com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, como por exemplo, o SIG, que permite manipular mapas temáticos, imagens de satélite, dados de GPS (Global Positioning System), dados socioeconômicos, entre outros.

Posicionamento cinemático pós-processado

Atualmente torna-se cada vez maior o interesse pelo posicionamento preciso de feições na superfície terrestre e o GNSS é uma das tecnologias espaciais amplamente utilizada para esta atividade.

Monico (2008) afirma que posicionamento é a determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico. Corresponde ao posicionamento absoluto quando as coordenadas são determinadas, diretamente, por um único receptor. No entanto, quando as coordenadas são determinadas com relação a um ou mais vértices materializados e com coordenadas conhecidas, o posicionamento é denominado método relativo.

Os métodos de posicionamento GNSS caracterizam-se como estático, quando o receptor permanece parado sobre um ponto de interesse, e cinemático, quando ocorre movimento do equipamento coletando um conjunto de coordenadas. Em outras palavras, neste modo de posicionamento um dos receptores está em pleno movimento, se desloca sobre os pontos de interesse e coleta um conjunto de coordenadas sobre um trajeto. Segundo Monico (2008), os dados do posicionamento relativo cinemático podem ser processados após a coleta (pós-processados) ou durante a própria coleta (tempo real) ou ainda, por RTK em rede. No método cinemático, de acordo com Nakao e Krueger (2017, p. 423) “é importante realizar uma inicialização, em que o receptor móvel permaneça estacionado por alguns minutos num ponto qualquer antes de percorrer a trajetória a ser descrita”.

De acordo com Lago (2002) existe uma grande expectativa no uso do GNSS no levantamento altimétrico, principalmente quando envolve uma grande quantidade de pontos a ser levantados para gerar um modelo digital do terreno. Entretanto, é importante o cuidado com a utilização do dado altimétrico, pois no levantamento com GNSS as altitudes são geométricas, que corresponde a diferença entre um ponto da superfície terrestre e o elipsóide de referência. Então, deve-se fazer a conversão para a altitude ortométrica, obtida pelos métodos de levantamentos da topografia clássica como o nivelamento geométrico, refere-se à diferença entre o ponto na superfície real e o geóide, tendo como referência o nível médio dos mares não perturbados. Esta conversão ocorre por meio da ondulação geoidal, de modo que a diferença entre altitude geométrica e a ondulação geoidal correspondem à altitude ortométrica.

Veículos aéreos não tripulados - VANT

Com o advento das geotecnologias, muitos estudos foram direcionados aos equipamentos eletrônicos que auxiliassem na aquisição e processamento de dados, e um destes métodos remetem aos veículos aéreos não tripulados (VANT) ou drones, como conhecidos popularmente.

O termo VANT é muito utilizado no Brasil, porém, segundo Munaretto (2017, p. 16) “está caindo em desuso devido à nomenclatura oficial adotada pela ANAC e pelo DECEA: Remotely Piloted Aircraft”. Segundo Da Silva (2016), o VANT é uma tecnologia que surge como alternativa rápida e precisa para a aplicação em topografia, quando comparado com técnicas tradicionais como a estação total e o GNSS.

Em estudos de viabilidade realizados por Souza (2015) para mapeamentos topográficos e de cobertura e uso da terra com o uso de VANT, elaborou-se mapas topográficos planialtimétricos com resultados finais com classe A de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

Atualmente, existem dois modelos principais de VANTs que são os multirotores e os de asa fixa. Moutinho (2015) comenta que possivelmente o melhor entre esses são os multirotores, pois devido a sua capacidade de planar e levantar voo verticalmente, é útil para decolagem em locais mais apertados e para aplicações em fotogrametria terrestre (principalmente arquitetônica). Por outro lado, os de asa fixa também têm suas vantagens, já que com estes é possível conseguir voos mais longos, sendo ideal para levantamentos maiores como de cidades inteiras ou em aplicações como a agricultura de precisão.

Materiais e métodos

Área de estudo

O município de Pedro Osório está localizado na região sul do estado do Rio Grande do Sul, possui área territorial de 603,9 km². A área urbana está situada às margens do Rio Piratini. A **Figura 01** demonstra a localização do município no estado do Rio Grande do Sul. De acordo com o IBGE (2010) a população de Pedro Osório é de 7.811 habitantes, sendo que destes, 7.301 residem na área urbana.

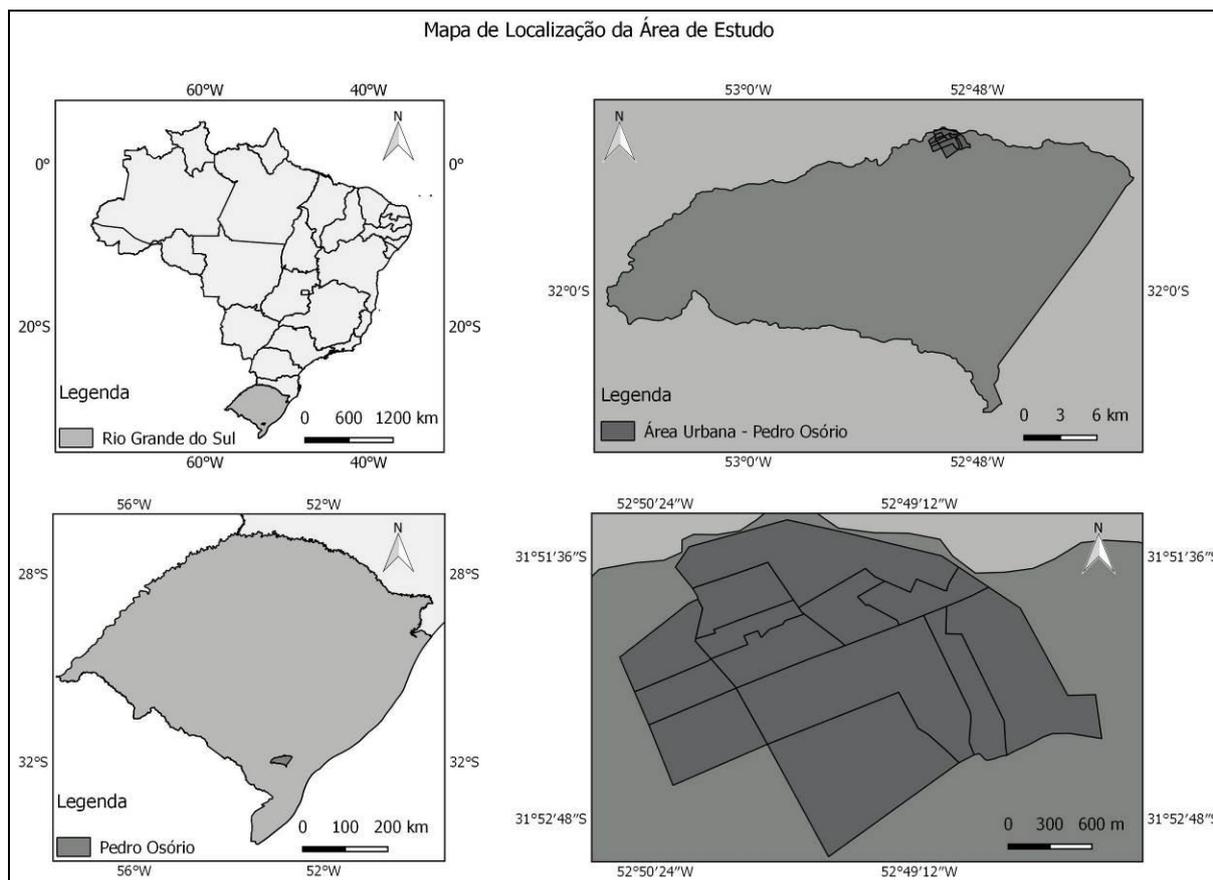


Figura 01: Localização da área de estudo.

Levantamento topográfico

Para a caracterização do relevo da área urbana de Pedro Osório foi realizado um levantamento planialtimétrico, a partir de um levantamento cinemático com receptores GNSS, modelo PromarK 500.

O posicionamento cinemático é um método indicado para o levantamento de feições como estradas, córregos, limites de talhões, entre outros e deve ser realizado em áreas livres de obstruções. Portanto, o levantamento foi elaborado no modo cinemático, em que o receptor GNSS foi inicializado e após, aproximadamente, 15 minutos, até sua estabilização, foram percorridas todas as ruas pavimentadas e não pavimentadas da área urbana municipal. O receptor foi instalado a bordo de uma camionete com velocidade de 20km/h, coletando pontos de coordenadas x, y, z, resultando num total de 22.734 pontos em uma área de 559,28 ha. (**Figura 02**).

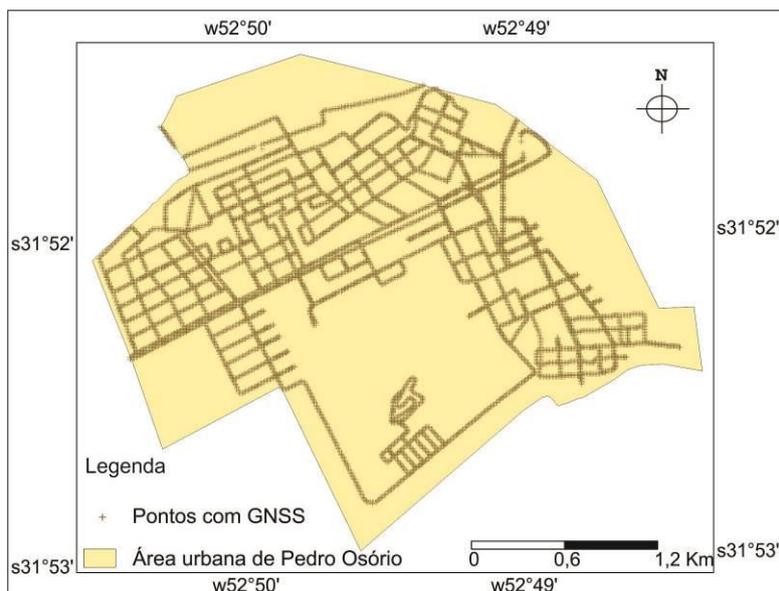


Figura 02: Malha de pontos obtidos no levantamento cinemático, área urbana de Pedro Osório-RS

Estes pontos foram importados no software GNSS Solutions, e convertidos para o formato RINEX, para então serem enviados ao IBGE para realizar o pós-processamento com o serviço de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), no modo cinemático e coordenadas referenciadas ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000).

Os dados topográficos adquiridos pelo GNSS e pós-processados pelo IBGE foram tratados no sistema de processamento de informações georreferenciadas (SPRING) e serviram de base para a criação de um modelo numérico do terreno (MNT) e posterior elaboração dos mapas de limite de cota de inundação.

Para a verificação da cota base do nível normal do rio Piratini utilizou-se o levantamento topográfico por nivelamento geométrico composto (**Figura 03**), de modo que o ponto inicial foi coletado com um GNSS pelo método de posicionamento estático, com 2 horas de rastreamento e pós-processado pelo serviço on-line IBGE-PPP, onde chegou a uma altitude geométrica de 35,34m, que corresponde à altitude ortométrica de 25,16m, uma vez que a ondulação geoidal é de 10,18m, segundo o MAPGEO2015.

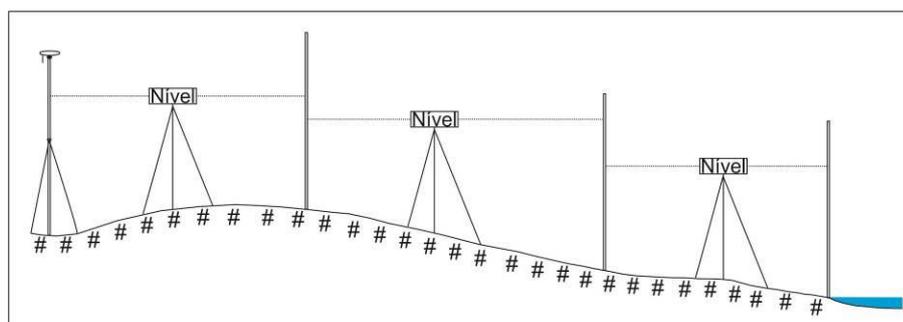


Figura 03: Esboço do nivelamento geométrico composto, Pedro Osório - RS

Desta forma, o nivelamento geométrico partiu da altitude ortométrica de 25,16m para, posteriormente, chegar à altitude do nível médio do rio Piratini, conforme **Tabela 01**.

Tabela 01: Nivelamento Geométrico

Estaca	Ré (+m)	Altura instr. Cota+Ré	Vante (-m)	Cota (m)
RN-1	0,185	25,345		25,16
	0,139	23,082	2,402	22,943
	0,536	20,031	3,587	19,495
	0,6	18,833	1,798	18,233
	0,171	16,702	2,302	16,531
			3,212	13,49

De acordo com a **Tabela 01**, a altitude ortométrica correspondente ao nível médio do rio Piratini é de 13,49m. Para verificar a precisão do nivelamento, fez-se um contra-nivelamento, exposto na **Tabela 02**.

Tabela 02: Contra-Nivelamento Geométrico

Estaca	Ré (+m)	Altura instr. Cota+Ré	Vante (-m)	Cota (m)
RN-1	3,225	16,715		13,49
	2,22	18,767	0,168	16,547
	1,675	19,92	0,522	18,245
	3,582	23,087	0,415	19,505
	2,402	25,35	0,139	22,948
			0,188	25,162

A precisão obtida neste nivelamento foi da ordem de 2 mm para uma distância de 287,27m, sendo considerado um nivelamento classe IN, aconselhado para implantação de referências de nível (RN) de apoio altimétrico, segundo a NBR 13.133.

O valor da altitude do nível médio do rio Piratini foi tomado por base para o mapeamento das cotas de inundação, e, posteriormente, foram gerados os mapas temáticos com diferença de cota de inundação de 1m entre eles.

Levantamento por VANT

Para melhor demonstrar às áreas suscetíveis de inundação foram realizados aerolevantamentos com VANT modelo DJI Phantom 4 Advanced. O planejamento de voo foi realizado no aplicativo DroneDeploy, o qual permite a realização do plano de voo com configuração da área, tempo de voo, altitude, velocidade, sobreposição lateral e longitudinal das fotografias, entre outros.

Devido à extensão da área urbana de Pedro Osório e a autonomia do equipamento, o número de voos necessários para cobrir toda a área é excessivo, o que demandaria um custo elevado, em virtude dos deslocamentos até o município. Sendo assim, foi realizado um recorte com ênfase na área atingida pelas inundações, totalizando 19 voos, com altura de 100 metros, e um banco de dados com 5.082 fotografias.

Para processamento das fotografias aéreas foi utilizado o software Agisoft PhotoScan Professional, o qual proporciona a criação de ortofotos de alta resolução. Primeiramente, fez-se um alinhamento das fotografias a partir de suas semelhanças. Nessa etapa, o software calcula os parâmetros, as posições do ponto principal e os parâmetros da rotação das imagens (SOUZA, 2015). Em seguida, o software gera uma nuvem de pontos com as coordenadas de cada fotografia, e seu ortomosaico, que foi exportado em formato geotiff para ser utilizado no software Spring.

O ortomosaico foi utilizado para verificar as áreas mais atingidas e a sua densidade demográfica. A estimativa do número de residências das áreas atingidas pelas inundações, foi gerada a partir da observação e contagem sobre o ortomosaico.

Banco de dados

O banco de dados foi elaborado no software livre SPRING, onde foram gerados os mapas de limite de cota de inundação. Tomou-se por base os índices expostos na **Tabela 03** e levantados por Telles (2002).

Tabela 03: Marcas históricas de inundações, Pedro Osório - RS

Ano	Cota (m)	Altitude Geométrica (m)
1959	27,92	38,10
1983	26,40	36,58
1992	28,62	38,80

Fonte: Adaptado de Telles (2002).

A delimitação das áreas suscetíveis à inundação foi determinada a partir da cota base, calculada pelo levantamento topográfico por nivelamento na margem do rio Piratini, sendo esta de 13,49m com variações até 14 m, dependendo do regime hídrico. Então, fez-se uma simulação, a partir de mapas temáticos, para determinar as possíveis áreas atingidas iniciando na cota de 1,0m acima do seu nível normal até atingir a altitude de 28,62m, valor registrado em 1992. Estas simulações demonstram as áreas suscetíveis às inundações de acordo com a topografia do município.

Como os levantamentos dos dados topográficos realizado pelo GNSS e pelo VANT fazem os cálculos sobre uma altitude geométrica, e os dados de cota de inundação reportam-se a altitude ortométrica, todos os pontos foram convertidos para a altitude geométrica. Sabe-se que a altitude considerada na inundação é a ortométrica. Porém, optou-se por trabalhar com a geométrica devido à tendência de uso e a praticidade de coleta de informação com o GNSS. Em caso de uma inundação que seja necessária uma informação rápida, usa-se o receptor GNSS e não Nível. No município a ondulação geoidal é constante, o que facilita o estudo e a transformação de altura Geométrica para Ortométrica (indicada como base para inundação).

Os mapas temáticos foram elaborados no Spring, a partir da geração de grades retangulares, pois os dados amostrados no terreno não possuem espaçamento regular. A partir da amostragem feita pelo receptor GNSS, gerou-se uma grade com resolução espacial de 50cm. Para a geração da grade, os pontos foram interpolados pelo método bilinear, contabilizando os quatro pontos vizinhos, buscando minimizar a influência da tendência, representando de maneira mais fiel possível a superfície.

Para melhor visualização das áreas atingidas, foram sobrepostas ao ortofotomosaico as simulações realizadas. Em seguida, foi verificado o número de residências passíveis de serem afetadas e suscetíveis à inundação.

Resultado e discussão

As inundações no município de Pedro Osório foram estudadas a partir da integração de informações sobre os registros das inundações, imagens de satélite, dados topográficos coletados com GNSS e dados fotogramétricos, os quais foram processados e resultaram na série de mapas temáticos com cotas de inundação. (**Figura 04**).

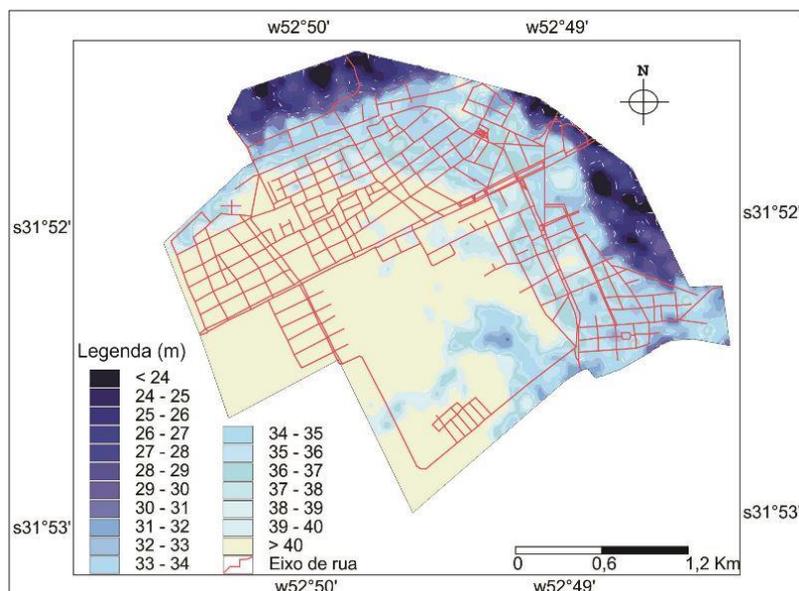


Figura 04: Cotas de Inundação em Pedro Osório

O conhecimento das cotas de inundação e o seu mapeamento é importante, e serve de subsídio para a ação da Defesa, em caso de eventos extremos, e o planejamento municipal, com o intuito de readequar a utilização das áreas mais atingidas e reduzir os efeitos negativos associados às inundações.

Este modelo de mapeamento exige diversos pontos amostrais de campo, tornando-o complexo, mas, em contrapartida, representa com maior detalhamento o avanço da água perante a área urbanizada.

A partir das análises dos mapas temáticos, quando o rio Piratini alcança a altitude geométrica de 25m, ou seja, menos de 2m acima do seu nível normal, já inicia o extravasamento de suas águas além do seu leito menor, inundando as ruas da área de camping do balneário da cidade, Parque Piratini, que possui altitudes mais baixas.

Na cota de inundação de 2m acima do nível normal ocorre a incidência de áreas alagadas na Avenida Tiradentes, próximo da Ponte da Orqueta, sobre o Arroio Basílio, principal contribuidor para este evento. (**Figura 05**).

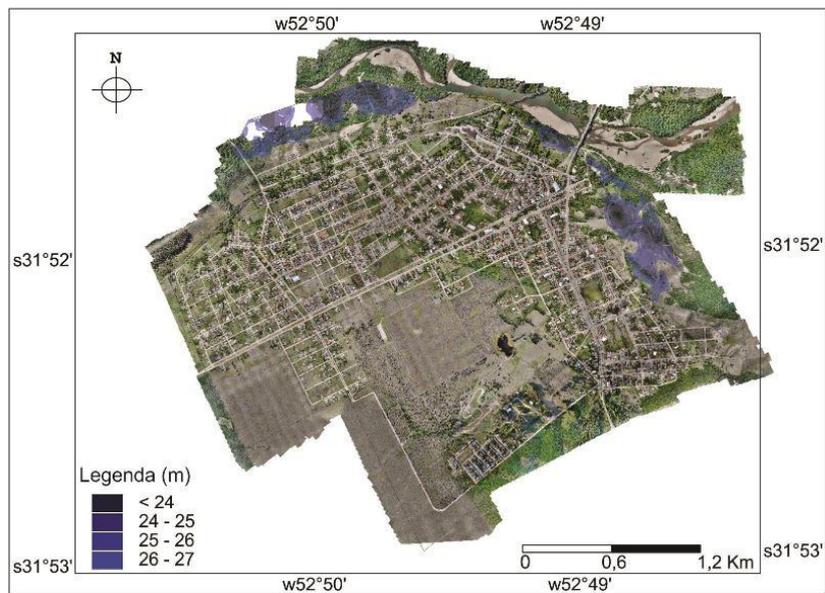


Figura 05: Cotas de Inundação em Pedro Osório (2m).

Ao comentar sobre o Arroio Basílio, torna-se importante resgatar Tucci (2002), o qual afirma que as inundações acontecem quando ocorre uma precipitação intensa e o total de água que chega simultaneamente ao rio, é superior à sua capacidade de drenagem, resultando em inundações das áreas ribeirinhas. Este fato foi observado no município de Pedro Osório e relatado também por moradores, uma vez que, em períodos chuvosos, o rio Piratini recebe um grande volume de água proveniente do Arroio Basílio e seus afluentes, mas não possui capacidade de vazão em virtude do assoreamento, como pode ser observado na **Figura 06**.



Figura 06: Fotografia aérea oblíqua, evidenciando o assoreamento do rio Piratini - RS.

Quando ocorre o aumento da vazão e do nível da água no rio principal pode haver a incidência de inundações e prejuízos à população ribeirinha.

Ao mapear a cota de inundação de 5m verificou-se que as águas provenientes do Arroio Basílio atingem o pátio da areieira localizada na porção Norte da área urbana, mais especificamente, na Rua Princesa Isabel. Com o extravasamento do rio Piratini a água chega à cabeceira da ponte da ERS-706, que dá acesso, ao município de Cerrito (porção Leste da área urbana). Sendo que, o camping municipal possui mais de 50% de sua área atingida.

Na altitude geométrica de 27m, a água chega à, aproximadamente, 50% da área da areieira localizada na Rua Princesa Isabel e à uma residência na Rua Barão do Rio Branco (porção Norte do mapa representado na **Figura 05**).

Com 7m acima do seu nível normal, as águas do Arroio Basílio atingem 3 galpões industriais da Olaria localizada na Rua Princesa Isabel, nesta mesma rua a areieira tem 100% de sua área atingida, sendo que a água avança o portão de entrada chegando até a Rua Silveira Martins. (**Figura 07**).

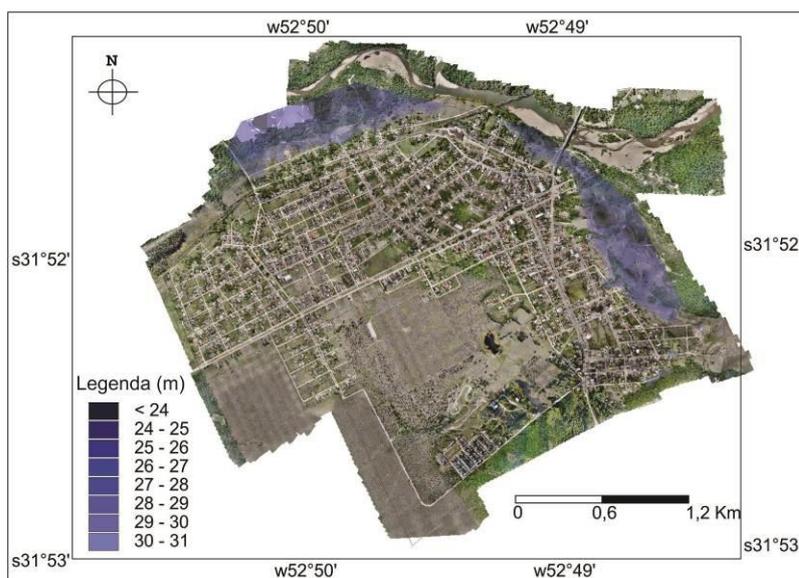


Figura 07: Cotas de Inundação em Pedro Osório (7m)

Na porção leste da zona urbana o rio Piratini ganha maiores proporções e alcança a Rua Vinte e Oito de Outubro invadindo 8 prédios residenciais e/ou comerciais, uma residência no final da Rua Simão Satte Alam. Nesta cota também foi possível observar que ocorrem indícios de alagamentos na Rua Abdon Duquia atingindo uma residência.

Na cota de inundação de 8m, a água chega à Rua Duarte Pacheco, invadindo 3 residências, quase esquina com a Avenida Tiradentes e uma residência na Rua Barão do Rio Branco. Nesta situação, estão, aproximadamente, 20 residências nas ruas Dionísio Magalhães, Santa Angelina e

José Krobs, sendo que a quadra entre estas ruas ficou mais de 60% inundada. Estas águas também atingiram uma residência no prolongamento da Avenida Eli Nobre e outras duas mais isoladas, próximas à Avenida Mimosa Rodrigues, onde há indícios pontuais de alagamentos que alcançaram mais uma residência.

A Rua Vinte e Oito de Outubro que já havia sido atingida na cota anterior, agora com 8m acima do nível normal, alcança mais 3 imóveis e 4 no final da Rua Simão Sante Alam. (**Figura 08**).



Figura 08: Cotas de Inundação em Pedro Osório (8m)

Os alagamentos existentes na cota anterior localizados na Rua Abdou Duquia aumentam de proporção nesta cota e atingem outros 3 imóveis, ocupando cerca de 40% da quadra ao Norte dos mesmos.

Na porção Sudeste da área urbana, as águas que extravasam são do Arroio Maria Rodrigues que atinge 3 casas da Rua Marcílio Dias e uma na Rua Vinte de Setembro. Ainda na Rua Marcílio Dias esquina com a Rua Braunlino Barbosa, um ponto de alagamento atingiu outros 2 imóveis.

Na cota de inundação de 9m, as áreas com 32m a 33m de altitude geométrica encontram-se dentro da zona inundada, o que corresponde a 97,12ha dos 559,28ha da área urbana. Nesta cota de inundação mais 92 prédios residenciais e/ou comerciais foram atingidos. Ocorrem também áreas de alagamentos, nas ruas Aymone Carriconde, Baunlino Barbosa e Marcílio Dias, atingindo 24 imóveis.

Na cota de inundação de 10m (**Figura 09**), áreas 34m de altitude geométrica encontram-se dentro da zona de risco, o que corresponde a 127,43ha dos 559,28ha de área urbana.

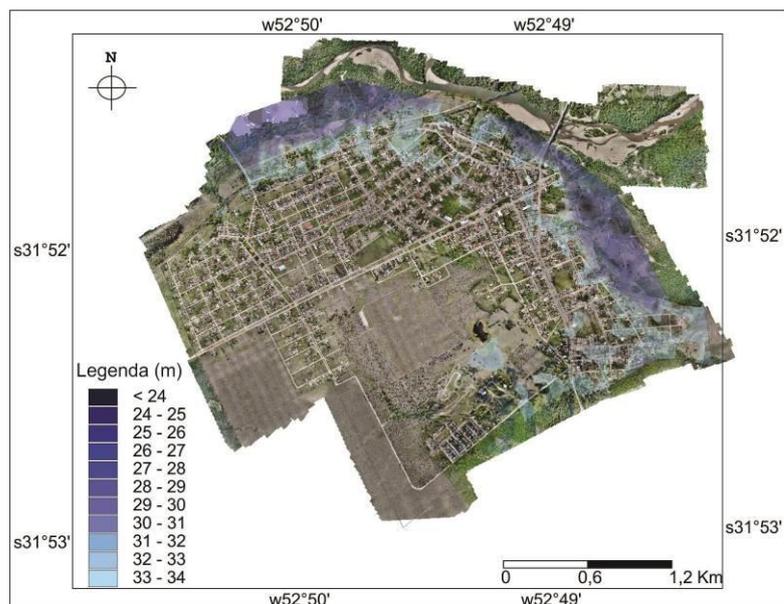


Figura 09: Cotas de Inundação em Pedro Osório (10m)

Nesta cota de 10m, verificou-se uma distribuição das áreas de inundação por toda a zona urbana, pois a partir desta cota as águas ultrapassam a linha férrea que serve de barreira artificial para as inundações, uma vez que foi construída acima do nível médio do terreno. Nestas circunstâncias, mais 245 edificações, em média, foram atingidas pelas águas. Tiveram também, vários pontos de alagamentos, nas ruas Alberto Pasqualine, Visconde de Mauá, Arzelino Ferreira e Pasquale Marchese esquina Presidente Vargas, atingindo, aproximadamente, 29 residências.

Na cota de 11m acima do seu nível normal foram atingidas mais de 500 imóveis entre as cotas geométricas de 34 a 35m.

Na cota de inundação de 12m foram 486 edificações afetadas, pelas águas do extravasamento dos rios, o que corresponde à 205,20ha da área urbana. **(Figura 10).**

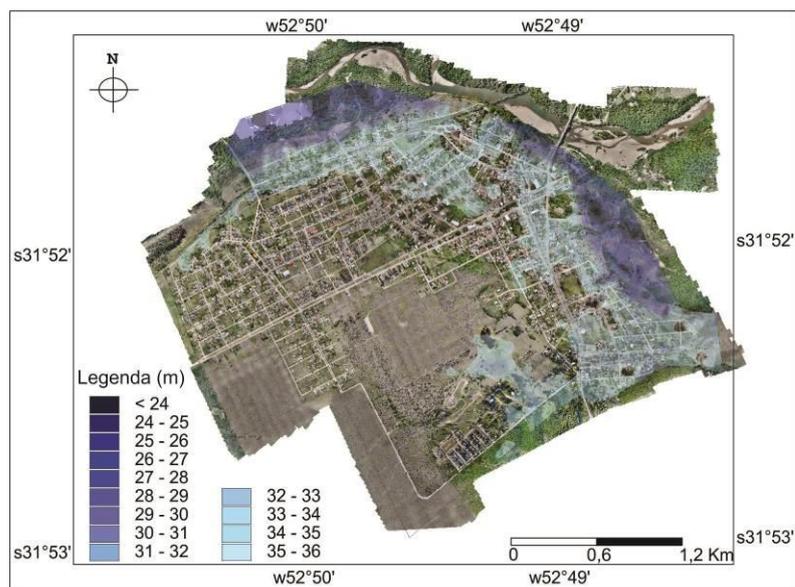


Figura 10: Cotas de Inundação em Pedro Osório (12m)

A partir da **Figura 10** é possível verificar que os bairros mais atingidos são Orqueta, Centro e Santa Teresa.

Na cota de inundação de 13m as áreas atingidas passam para a altitude geométrica de 36 a 37m e afetam mais 473 estabelecimentos. Mas com 14m de cota de inundação os danos são ainda maiores, totalizando uma área inundada de 266,50ha, correspondente à 48% da área urbana, como pode ser visualizado na **Figura 11**.

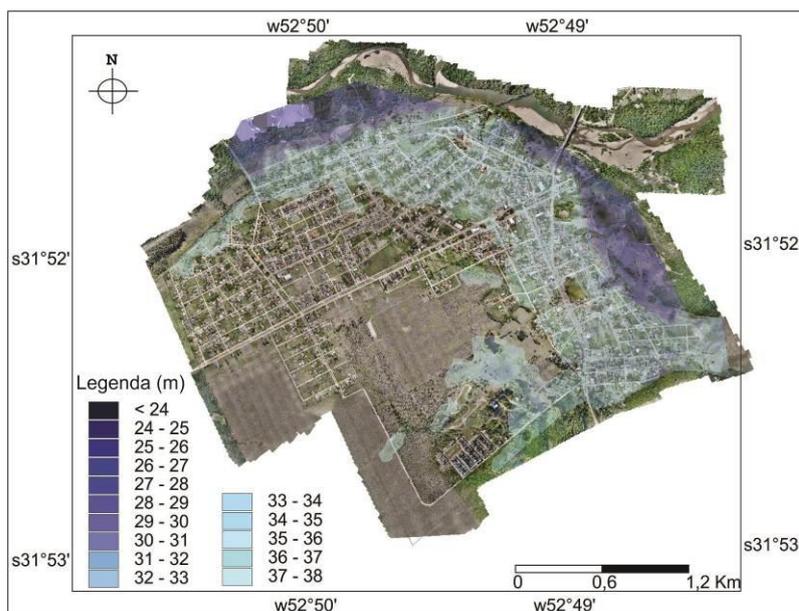


Figura 11: Cotas de Inundação em Pedro Osório (14m)

Nesta cota de inundação foram atingidas mais 352 estabelecimentos, causando maiores problemas sociais na área de Pedro Osório.

Com a cota de inundação em 15m chega-se aos registros de eventos ocorridos em 1992, onde a altitude geométrica atingida foi de 38,80m, chegando até as escadas da calçada, onde hoje localiza-se o Banco do Brasil. (**Figura 12**).

Nesta cota de 15m a área total inundada chega a 288,72ha e corresponde à 52% da zona urbana municipal, neste sentido afeta mais da metade da área urbana e toda essa área atinge em torno de 2.000 imóveis, causando sérios prejuízos à população. Este seria o mapa para a verificação da real extensão da inundação ocorrida no município no ano de 1992.

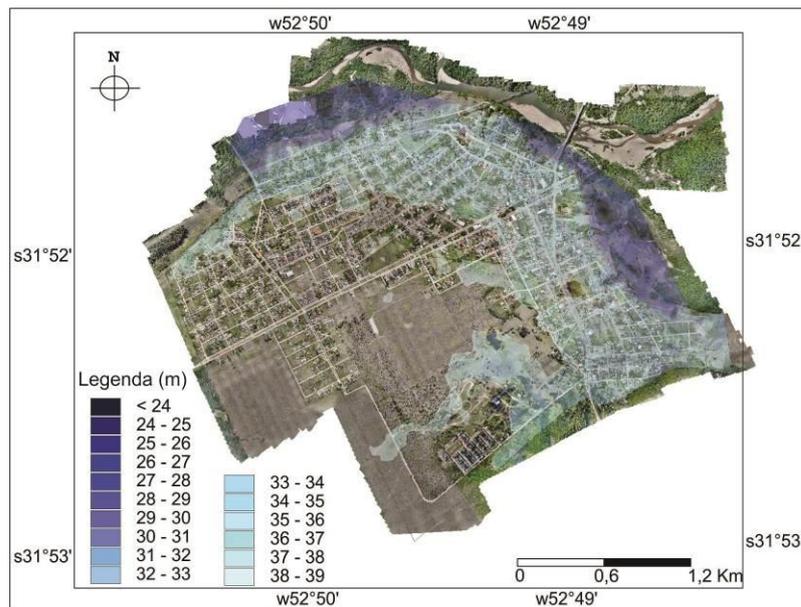


Figura 12: Cotas de Inundação em Pedro Osório (15m)

Por fim, fez-se uma estimativa de como ficaria a área urbana se o nível médio do rio subisse 16m, ou seja, 1m acima da cota registrada em 1992, o resultado pode ser visualizado na **Figura 13**.



Figura 13: Cotas de Inundação em Pedro Osório (16m)

A **Figura 13** demonstra a área que seria inundada e considerada como zona de risco corresponde a 309,60ha dos 559,28ha de área urbana.

Nesta representação seriam afetadas 75 quadras totalizando, aproximadamente, 2209 imóveis da zona urbana do município de Pedro Osório, mas ressalta-se que a cota de inundação de 16m somente seria atingida em casos de eventos extremos.

Pela característica altimétrica do relevo da cidade de Pedro Osório, observa-se que há uma barreira topográfica artificial que ajuda a minimizar os danos ocasionados pelos grandes eventos de inundação que é a linha férrea.

Para calcular as áreas, número de quadras e edificações atingidas pelos eventos extremos, a utilização das imagens do VANT foram de fundamental importância, pois são representações da realidade e contribuíram para diagnosticar com maior detalhamento os efeitos das inundações.

Considerações finais

Nos últimos anos, as ocupações próximas aos rios e, principalmente, nas áreas de preservação permanente acarretaram na impermeabilização do solo, gerando um aumento no escoamento superficial em períodos de precipitação intensa, e intensificando o assoreamento dos rios. Este fato foi comprovado no município de Pedro Osório, uma vez que a área urbana possui cotas topográficas baixas e ocupa a planície de inundação, o que resultou no aumento do escoamento superficial. Outro fator, reporta-se ao assoreamento do rio Piratini que em períodos de maior precipitação, e/ou chuvas intensas o nível de água sobe ocasionando inundações.

Na área de estudo, a área total suscetível às inundações corresponde a 309,60ha. A elevação do nível da água dos rios pode atingir até 16 m acima do nível de referência, quando alcança a cota topográfica de 29,82m, correspondendo à uma área inundada de 55,36% da zona urbana do município de Pedro Osório.

O mapeamento das cotas de inundação permite o monitoramento das áreas mais suscetíveis à ocorrência do fenômeno, no qual a metodologia demonstrou-se adequada e auxilia a gestão pública no planejamento urbano e construção de possibilidades de mitigação dos impactos do evento.

Referências

ANDJELKOVIC, I. **Guidelines on non-structural measures in urban flood management**. IHP, Technical Documents in Hydrology n. 50, UNESCO, Paris. 2001. 87p.

BARBOSA, Z.N.T.; OLIVEIRA, W.N.; ALVES, P.R. Uso de Geotecnologias para mapeamento de áreas de riscos. Estudo de caso: Angra dos Reis – RJ. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4940-4947.

COBRADE. **Classificação e codificação brasileira de desastres**. 2012. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=2a09db34-e59a-4138-b568-e1f00df81ead&groupId=185960>. Acesso em: 4 abril 2019.

CPRM, ANA e IGAM. **Definição da Planície de inundação da cidade de Governador Valadares**. Belo Horizonte. 2004.30 p

Defesa Civil de São Bernardo dos Campos. (2011) São Paulo. Disponível em: <<http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html>> Acesso em: Mar. 2018.

Identificação e Análise de Risco de Inundações e Alagamentos dos Municípios de Erechim e Passo Fundo (PDF Download Available). Available from: https://www.researchgate.net/publication/309222691_Identificacao_e_Analise_de_Risco_de_Inundacoes_e_Alagamentos_dos_Municipios_de_Erechim_e_Passo_Fundo [accessed Mar 18 2018].

ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná**. Curitiba. 122 f. Dissertação (Mestrado em Eng de Recursos Hídricos). Universidade Federal do Paraná. 2004

FRIESECKE, F. Precautionary and Sustainable Flood Protection in Germany – Strategies and Instruments of Spatial Planning. Proceedings of 3rd FIG Regional Conference, Jakarta, 2004. **Proceedings...** Jakarta: 2004

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLER, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

KUREK, M. K. R. **Avaliação do Tempo de Retorno dos Níveis das Inundações no Vale do Taquari / RS**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, Centro Universitário (UNIVATES), Lajeado, 2012.

MARCELINO, E. V., NUNES, L. H., KOBIYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. **Caminhos da Geografia (UFU)**, Uberlândia, v.7, n.17, p.72-84, 2006.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicação**, 2ª edição, São Paulo: Editora da UNESP, 2008, 331p.

MOUTINHO, O. **Evaluation of Photogrammetric Solutions for RPAS: Commercial vs Open Source**. 2015. 120f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Geográfica, Universidade Do Porto, Porto, 2015.

MUNARETTO, Luiz. **VANT e DRONES: A aeronáutica ao alcance de todos**. São Paulo: Edição Independente. 2.ed., 2017. 176p.

NAKAO, Laís Thie Hasuda; KRUEGER, Cláudia Pereira. Análise dos métodos de posicionamento e dos parâmetros definidores da qualidade de um levantamento batimétrico. **Bulletin Geodetic Sciences**, Articles section, Curitiba, v. 23, n°3, p.419 - 433, Jul - Sept, 2017

SAITO, S.M.; SAUSEN, T.M.; LACRUZ, M.S.P.; MADRUGA, R.; JUNIOR, E.R.L. Avaliação dos desastres naturais ocorridos no Rio Grande do Sul em 2008. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4828-4834.

SHIDAWARA. M. Flood hazard map distribution. **Urban Water**, v.1, p.125-129, 1999.

TOMINAGA, L. K., SANTORO, J., AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 1. Ed. /2º reimpressão. São Paulo: Instituto Geológico. São Paulo, p.196,2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ª ed.. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2002. 943p

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul.** 1ª ed.. Porto Alegre:
ISBN: 85-88686-07-4. 2003. 156p