

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ESTIMATIVA DE IMPACTO DAS CHEIAS DE 1941, 1967 E 2015 EM PORTO ALEGRE NA HIPÓTESE DE INEXISTÊNCIA DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA CHEIAS DO LAGO GUAÍBA

José Augusto Müller Neto¹ ; Fernando Dornelles² ; Ayan Santos Fleischmann³ & Matheus Sampaio Medeiros⁴.

RESUMO – O trabalho versa sobre as cheias ocorridas em Porto Alegre/RS em 1941, 1967 e 2015 e configura-se como uma análise espaço-temporal dos impactos sobre as edificações atuais que seriam atingidas na hipótese de inexistência, de remoção ou de falha, do sistema de proteção contra inundações do Lago Guaíba. Dessa forma, o objetivo principal do trabalho é quantificar as edificações potencialmente atingidas diariamente na área protegida durante importantes cheias registradas no Lago Guaíba. A metodologia fundamenta-se no uso de ferramentas de geoprocessamento para cruzar dados da altimetria da cidade e edificações com os níveis d'água do Lago Guaíba simulado matematicamente pelo modelo MGB-IPH para 1941 e registrado diariamente com régua limnimétrica para 1967 e 2015. Os resultados incluem o número máximo de edificações afetadas e o tempo total das inundações de 1941, 1967 e 2015. Entretanto, além dos números máximos aferidos, o resultado mais inovador do trabalho consiste na estimativa da evolução dos impactos que ocorreriam na hipótese de não existência do sistema de proteção. A conclusão alcançada é de que o sistema de proteção a inundações consiste-se como indispensável mecanismo na segurança da sociedade civil residente na área inundável e que a avaliação dos impactos de inundações é mais realista quando se analisa a sua evolução diária.

ABSTRACT– This work studies the urban floods that occurred in Porto Alegre/RS - Brazil in 1941, 1967 and 2015. It is a spatial-temporal analysis of the impacts on current buildings that would be affected on the hypothesis of inexistence, removal or failure of the Guaíba Lake flood protection system. Therefore, the main objective of the study is to quantify the buildings that would be hit daily in the protected area during important recorded floods of the Guaíba Lake. The methodology is based on the use of geoprocessing tools to cross-check altimetry data of the city and buildings with water levels of Guaíba Lake simulated mathematically with the MGB-IPH model for 1941 and registered daily with a water level gauge for 1967 and 2005. Results include the maximum number of buildings hit and the total amount of flood days in 1941, 1967 and 2015. However, besides the number of hit buildings and the maximum time flood duration, the result that is more outstanding in this study is the finding of the evolution of the impacts that would occur in the hypothesis of inexistence of the protection system. The conclusion reached is that the flood protection system is an indispensable mechanism for the safety of the civil society living in the floodable area and the impact evaluation is more realistic when daily evolution is considered.

Palavras-Chave – Inundações urbanas, Cheias do Lago Guaíba, Geoprocessamento

1) joseaugustomullerneto@gmail.com, 2) fernando.dornelles@ufrgs.br, 3) ayan.fleischmann@gmail.com, 4) matheussampaioedeiros@gmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Departamento de Hidromecânica e Hidrologia. Av. Bento Gonçalves 9500 - Caixa Postal 15029 - Agronomia – CEP 91501970 - Porto Alegre, RS - Brasil

INTRODUÇÃO

Inundações são frequentes na Região do Lago Guaíba, onde a capital do estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, situa-se. Devido a significativos eventos de cheia, implementou-se um sistema de proteção composto, principalmente, por diques e casas de bombas. Entretanto, a permanência de um trecho do sistema de proteção contra cheias, o muro da Avenida Mauá, é questionado por uma parcela da sociedade, uma vez que cria uma barreira para o convívio com o principal manancial que banha a cidade, além de ser considerado um bem-público ocioso em sua função a maior parte do tempo.

Segundo o relatório síntese dos estudos preliminares para subsídios ao Plano de Bacia do Lago Guaíba, o Delta do Jacuí e os municípios ao redor apresentam extensas áreas inundáveis, sejam elas urbanizadas e protegidas ou não. A capital Porto Alegre possui a maior área urbanizada protegida contra cheias dos corpos hídricos circundantes (CONCREMAT, 2005). Na Figura 1 é ilustrada a área urbanizada do município e a área protegida pelo sistema de pôlderes. Nesse sentido, a área de interesse utilizada como recorte espacial para o presente estudo é justamente aquela mantida segura pelo sistema de proteção contra inundações em Porto Alegre.

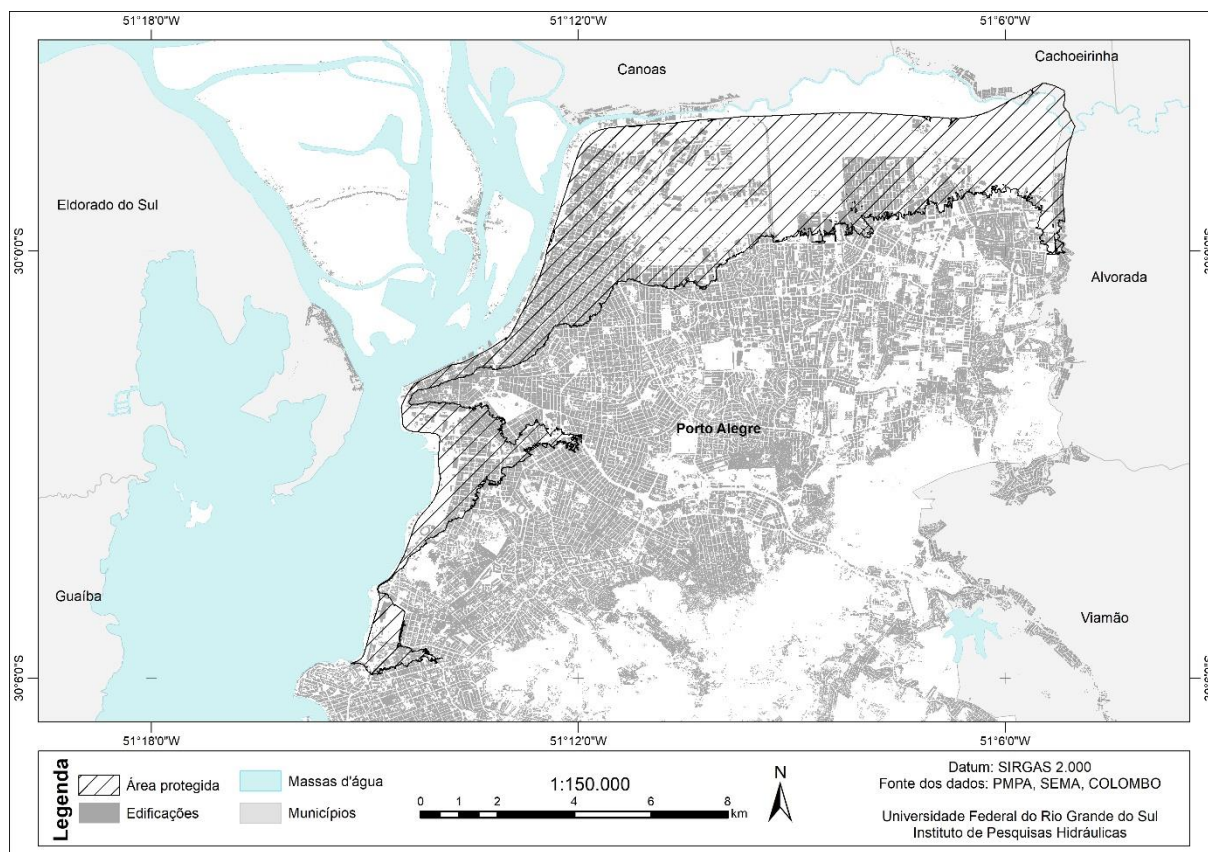


Figura 1 – Área urbanizada e área protegida.

Tendo em vista os aspectos supracitados, o presente trabalho propõe-se responder os seguintes questionamentos: (1) qual o impacto, em termos de quantidade de edificações atingidas, da evolução diária dos mais importantes eventos de cheia do Lago Guaíba sobre a atual infraestrutura urbana protegida de Porto Alegre se não houvesse o sistema de proteção a inundações? Ainda, dadas essas circunstâncias, (2) qual o comportamento temporal e espacial das inundações sobre a região protegida da cidade?

Visando a responder esses questionamentos o objetivo do trabalho é definir o número de edificações atingidas diariamente na área de estudo durante importantes cheias registradas no Lago Guaíba, em 1941, 1967 e 2015. Para tanto, como objetivo secundário, deve-se definir quais cotas altimétricas da cidade estariam submetidas às inundações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dentre os dados utilizados, parte é originária do aerolevante realizado em 2010 disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre – PMPA. Consistem em informações vetorial e matricial georreferenciadas de Edificações e Modelo Digital de Terreno – MDT deste município. O MDT foi disponibilizado em formato *geotiff* com pixel de resolução espacial de 1 metro e resolução altimétrica de milímetros. Ainda, foi cedido pela PMPA uma camada vetorial contendo polígonos das edificações de Porto Alegre. (CONSÓRCIO GUAÍBA, 2012; ZANARDI et al, 2015).

A série temporal de nível d'água da cheia de 1941 foi estimada via modelagem matemática, uma vez que esses registros não existem. Empregou-se o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH), desenvolvido para simulações hidrológicas e hidrodinâmicas de bacias de grande escala, e aplicado para a bacia do Lago Guaíba por LOPES et al. (2018), e para o específico evento de 1941 por MARTINBIANCHO et al. (2018).

Diferentemente do evento de cheia de 1941, para as ocorrências de 1967 e 2015 existem dados registrados na região central de Porto Alegre e disponíveis por meio do Portal HidroWeb, o qual é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas – ANA e do site do Porto de Rio Grande. O código da estação fluviométrica consultada é 87450003, nomeada como Praça da Harmonia (S 30° 2' 04,92"; W 51° 14' 29,04").

Finalmente, o atual Datum Altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), denominado comumente Datum de Imbituba/SC, o qual foi definido em 1959 (LUZ, FREITAS e DALAZOANA, 2012), foi usado para adequação dos dados da estação Praça de Harmonia. Segundo a Secretaria de Obras Públicas, Irrigação e Desenvolvimento Urbano – SOP do RS, o nível 3,000 m da régua,

corresponde à cota 2,693 m do atual Datum oficial. Desta forma, os dados registrados de níveis estão acrescidos da diferença entre essas duas cotas, devendo assim ser subtraídos em 30,7 cm para ter-se a altimetria correta em relação ao nível do mar (CONSÓRCIO ENGEPLUS AEROGEO, 2014).

Porém, segundo a Superintendência de Portos e Hidrovias – SPH, O zero da régua limnimétrica da Harmonia está localizado 23,72 cm abaixo do nível médio do mar medido no marégrafo de Torres. A relação entre os marégrafos brasileiros e o de Imbituba é explicada por Alencar (1990), no qual fica clara a divergência de + 0,0584 m entre o marégrafo de Torres e Imbituba. Sendo assim, somando-se 23,72 cm com 5,84 cm se tem como resultado 29,56 cm.

A diferença entre as duas referências é de apenas 1,14 cm ($30,7 - 29,56$) e para as pretensões desse presente trabalho é um nível de incerteza associada aceitável, tendo em vista as notáveis indefinições que envolvem o tema. Conclusivamente, adotou-se o cálculo sugerido pela SOP/RS por coincidir com a diferença de nível entre os dados obtidos do SNIRH e da maioria das fontes históricas consultadas.

O processamento dos dados ocorreu em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) obtendo-se o número de edificações atingidas para níveis d'água entre 1,00 e 4,45 m a cada 0,10 m. Estes limites foram assim estabelecidos para, aproximadamente, iniciar na menor cota onde existem edificações e terminar na cota da maior cheia registrada no ano de 1941. A cota de 1,00 m corresponde, atualmente, a um TR menor que 2 anos, e que foi parâmetro para identificar o início e término dos eventos de cheia.

Ainda, ressalta-se que se assumiu o nível diário de todas cheias em uma única cota constante, ou seja, sem se levar em conta a declividade da linha d'água e utilizando-se sua média diária. Tal decisão advém do fato que outras incertezas do método têm ordem de grandeza superior às possíveis diferenças de cota da linha d'água em função de sua declividade. Desta forma, foi possível tabular a informação de número de edificações atingidas para cada nível d'água, o que foi então utilizado para estimar as alturas de submersão das edificações, e gerando, assim, informações do número de dias e edificações que ficaram submersas para diversas alturas.

RESULTADOS

Inicialmente, constataram-se restrições ao método uma vez que não foi atribuída informação altimétrica a 540 edificações na etapa de geoprocessamento. Isto ocorreu por não haver nenhuma intersecção entre a área de alguns polígonos relativamente pequenos e os centroides dos pixels do MDT. De qualquer forma, o número de edificações não contempladas é ínfimo se comparado ao

conjunto de dados como um todo e, desta forma, considerou-se bastante satisfatória a conexão das informações através do algoritmo empregado pelo software.

Dentre as restantes 44.151 da área de estudo, 99,84% delas foram contempladas pela linha de corte traçada em 1 m para a aquisição de dados hidrológicos e, conseqüentemente, cruzadas com informações de altura das cheias históricas escolhidas. A partir disso, foram submetidas à análise 44.079 edificações enquadradas nos requisitos supracitados e apenas 72 não entraram em discretizações por estarem abaixo da cota 1 m. Entretanto, essas 72 edificações estiveram presentes em todos resultados uma vez que apresentavam cota mínima inferior ao limite superior diário de todo o período das três inundações, e, por isso, foram contabilizadas como atingidas em todos dias de cheia.

A Figura 3 ilustra o número de edificações que seriam atingidas diariamente em caso de não existência do sistema de proteção. Nota-se que, tratando-se apenas do número máximo de construções afetadas, a cheia de 1941 causaria mais de 3 vezes o impacto da cheia de 2015 e aproximadamente 2,5 vezes o da cheia de 1967. No que concerne ao tempo de duração do evento, mesmo com aproximadamente 30 dias de relativa baixa entre os picos da cheia mais recente e, até mesmo, considerando-se somente o evento principal, as cheias de 2015 e 1941 são consideravelmente mais duradouras do que a de 1967.

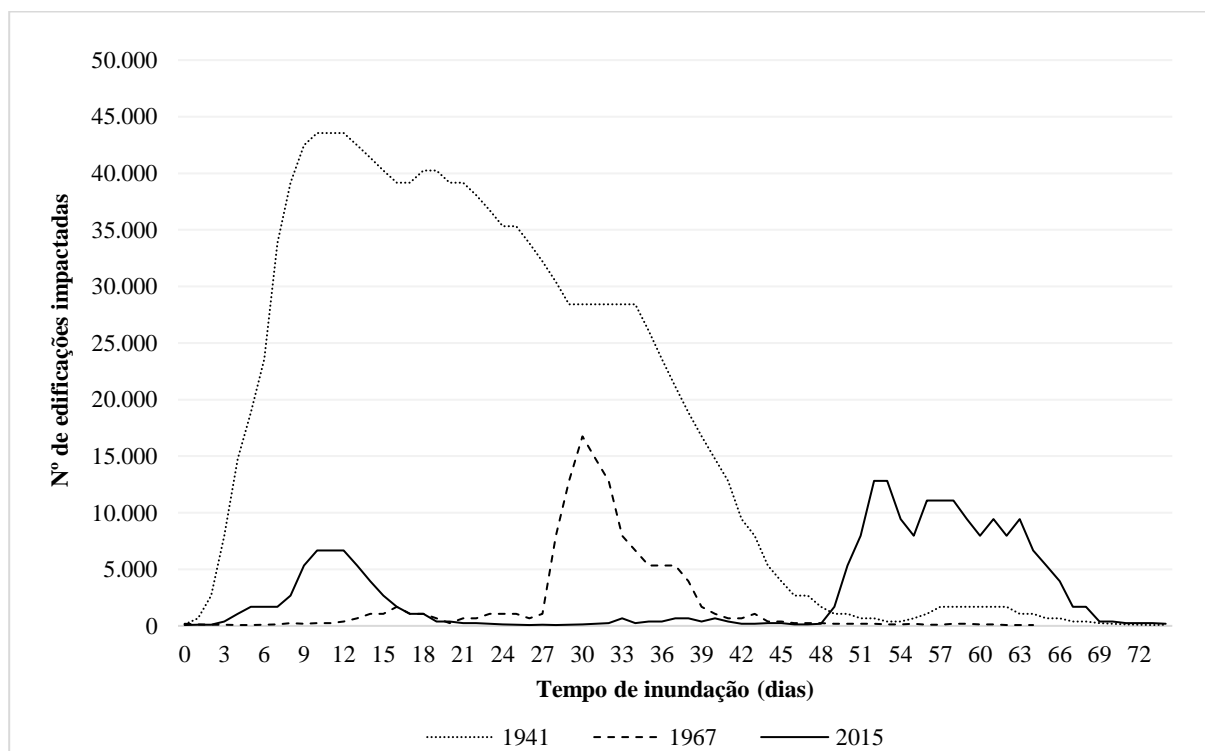


Figura 3 – Nº de edificações impactadas ao longo das inundações.

Para as condições simuladas nesse trabalho, a contagem máxima de edificações atingidas e o tempo de duração desse impacto máximo para cada cheia foi de 43.553 edificações, durante 3 dias,

para a cheia de 1941; 16,749 edificações, por 1 dia, para o evento de 1967; e, por fim, 6.654 edificações, por 3 dias e 12.815 por 2 dias, para o evento de 2015, devido ao comportamento oscilatório deste.

Outra informação interessante para a estimativa do impacto das cheias é resultante da soma das edificações impactadas durante todo o período de inundação. As áreas abaixo dos gráficos da Figura 3 são indicativas da magnitude de cada evento, e corroboram o já citado anteriormente no que diz respeito à proporção da cheia de 1941 em relação às demais. A área sob a curva de construções afetadas no tempo é 1.283.373, 124.239 e 217.776 unidades de área, para 1941, 1967 e 2015, respectivamente.

Complementarmente à Figura 3, a Tabela 1 apresenta, resumidamente, alguns parâmetros encontrados:

Tabela 1 – Resumo dos resultados das cheias de 1941, 1967 e 2015.

Ano	Dias com >1.000 edificações afetadas	Dias com >10.000 edificações afetadas	Máximo de edificações afetadas e tempo	Data de início e fim e duração	Tempo sem inundação	Razão de dias inundados sob duração do evento
1941	58	38	43.553 (3 dias)	28/04/1941 - 13/09/1941 (139 dias)	21 dias (2 intervalos)	118/139
1967	23	4	16.749 (1 dia)	23/08/1967 - 26/10/1967 (65 dias)	2 dias (2 intervalos)	63/65
2015	35	5	6.654 (3 dias) e 12.815 (2 dias)	15/06/2015 - 30/12/2015 (160 dias) *	60 dias (7 intervalos)	92/160

* 61 dias do evento maior

A seguir são apresentadas a Figura 4, Figura 5 e Figura 6, as quais detalham para cada cheia o número de edificações afetadas frente o nível d'água alcançado durante a onda de cheia. Em seguida, a Figura 7 e a Tabela 2 demonstram os resultados alcançados no levantamento das áreas e edificações que seriam atingidas pelas cheias de 1941, 1967 e 2015, evidenciando a excepcionalidade da primeira. Ordenada como a maior cheia do Lago Guaíba já registrada, a extensão da mancha de inundação resultante sobre o MDT com valores de pixel menores que 4,44 m é muito superior aos outros dois eventos seguintes na classificação de maiores níveis d'água já registrados. Ainda, os eventos de 1967 e 2015, mesmo apresentando distribuição temporal completamente diferentes, atingiram cotas aproximadas, e, portanto, geraram manchas de inundação semelhantes, como é possível constatar a seguir.

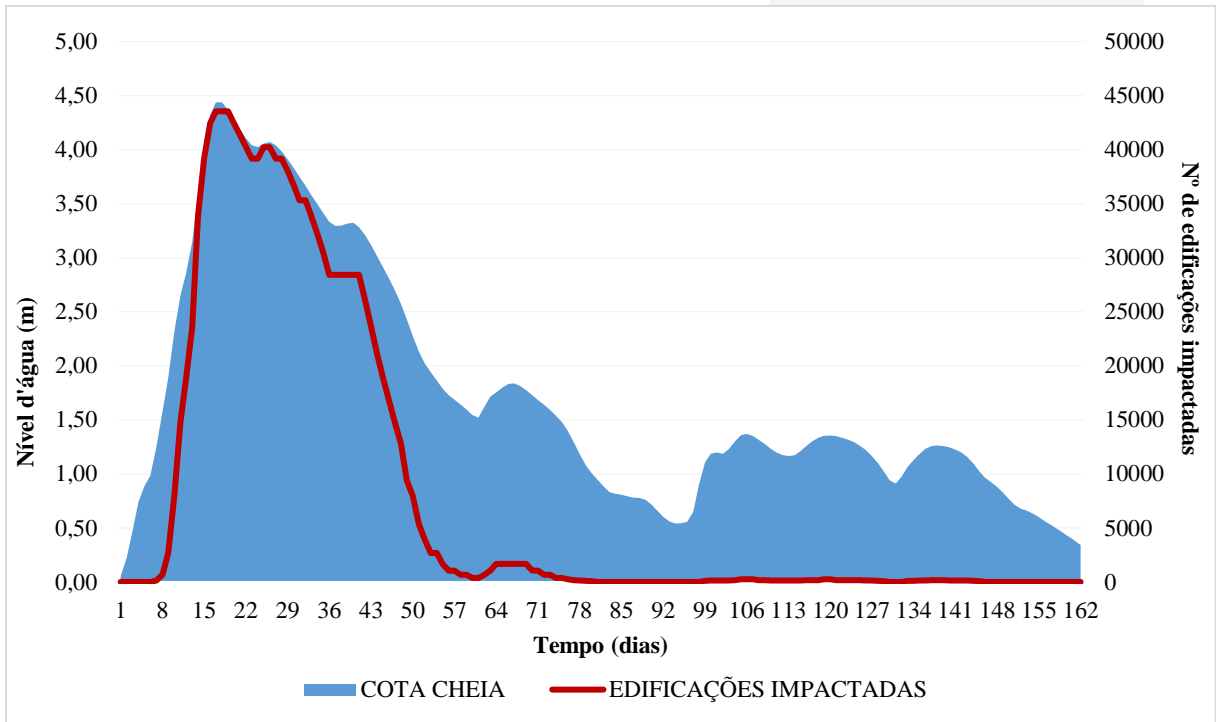


Figura 4 – Cota de cheia e edificações impactadas (1941).

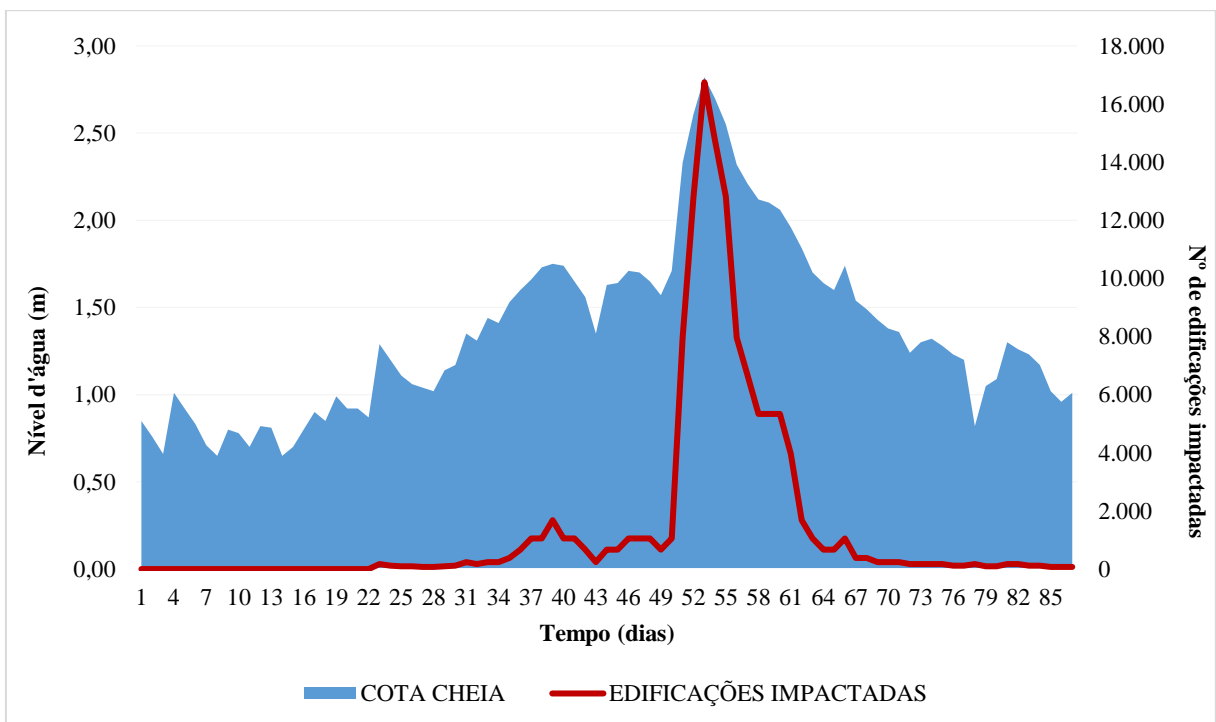


Figura 5 – Cota de cheia e edificações impactadas (1967).

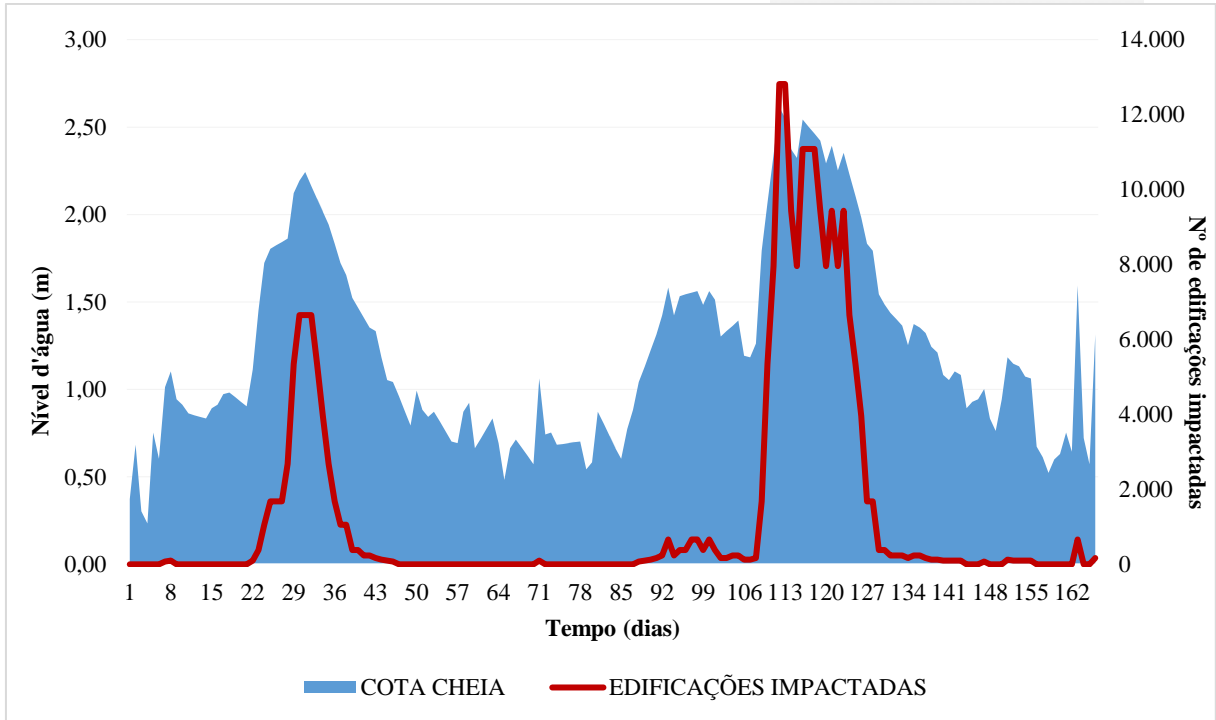


Figura 6 – Cota de cheia e edificações impactadas (2015).

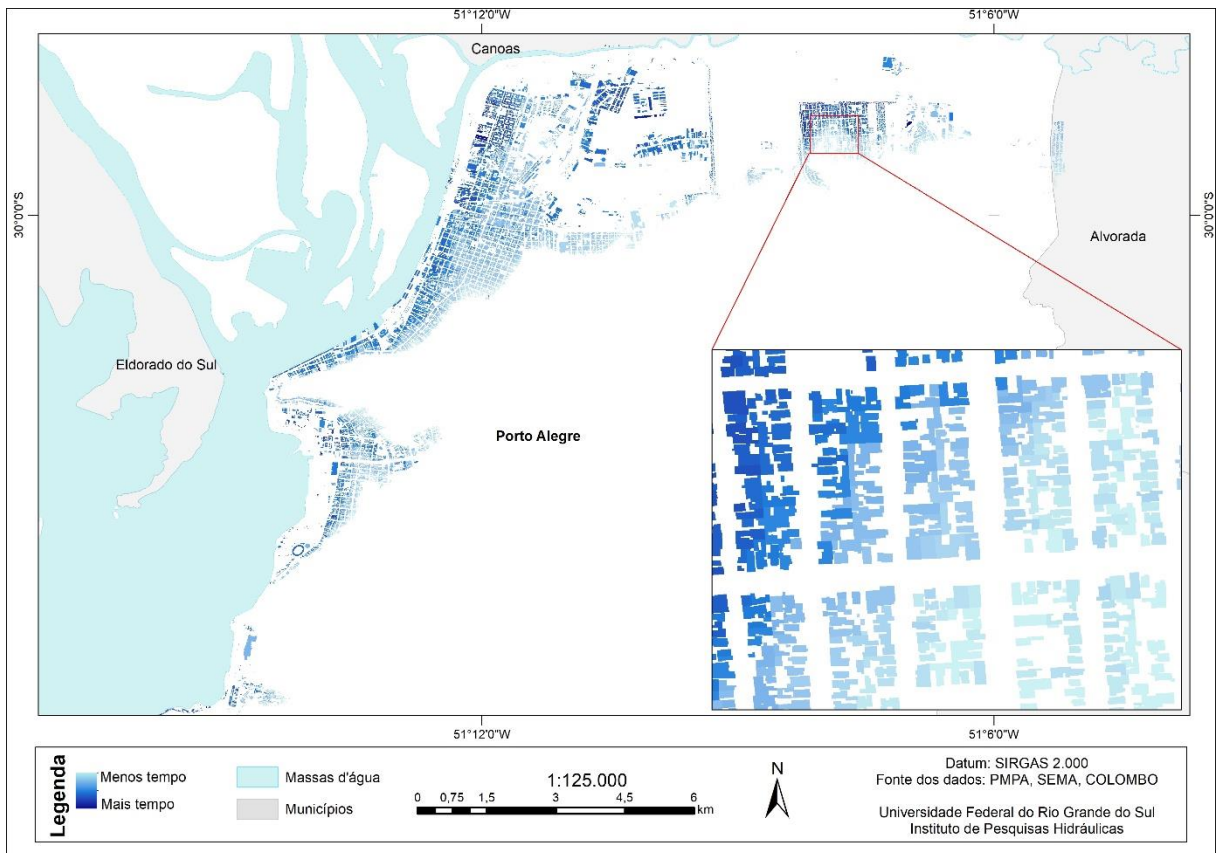


Figura 7 – Edificações e tempo de inundação com exemplo.

Tabela 2 – Edificações atingidas por tempo e por altura de submersão

	Submersão (m)	De 0,10 a 0,50 m	De 0,60 a 1,00 m	De 1,10 a 1,50 m	De 1,60 a 2,00 m	De 2,10 a 2,50 m	De 2,60 a 3,00 m	De 3,10 a 3,30 m
1941	Nº de edificações	43.553	40.234	33.832	23.583	12.815	5.342	667
	Tempo submerso (dias)	116	59	42	36	29	18	6
	Edificações x dias	5.052.148	2.373.806	1.420.944	848.988	371.635	96.156	4.002
1967	Submersão (m)	De 0,10 a 0,50 m	De 0,60 a 1,00 m	De 1,10 a 1,50 m	De 1,60 a 1,80 m	-	-	-
	Nº de edificações	16.749	11.091	3.959	379	-	-	-
	Tempo submerso (dias)	64	30	10	4	-	-	-
	Edificações x dias	1.071.936	332.430	39.590	1.516	-	-	-
2015	Submersão (m)	De 0,10 a 0,50 m	De 0,60 a 1,00 m	De 1,10 a 1,60 m	-	-	-	-
	Nº de edificações	12.815	3.959	379	-	-	-	-
	Tempo submerso (dias)	91	40	21	-	-	-	-
	Edificações x dias	1.166.195	158.360	7.959	-	-	-	-

A Tabela 2 evidencia a quantidade de edificações atingidas ante a elevação de nível d'água considerando o respectivo nº de dias de submersão por altura de submersão. Para tanto adotou-se um intervalo de 0,5 em 0,5 m até o nível d'água máximo de cada cheia. A partir dela é possível constatar-se, por exemplo, quantos dias e quantas edificações ficaram submersas em cada faixa de profundidade submersão. Para uma melhor exibição da dimensão dos impactos multiplicou-se o número de edificações atingidas pelo número de dias que elas estiveram submersas até as cotas determinadas, tendo-se, assim, o resultado na unidade edificações-dia. Tal resultado pode ser significativo para pesquisas futuras que venham a estimar o prejuízo potencial em termos monetários destas inundações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da metodologia empregada, tem-se como principal resultado deste trabalho o número de edificações potencialmente impactadas em escala diária por três importantes eventos de inundação em Porto Alegre por faixa de altura de submersão, caso não existisse o sistema de proteção contra cheias do Lago Guaíba. Desta forma, os objetivos propostos foram alcançados satisfatoriamente.

Inicialmente, constata-se que todos eventos de cheia analisados resultariam em inundações de maior prejuízo. A principal hipótese decorre da urbanização que se expandiu e ocupou, inclusive, as regiões de várzea. Esse fato é especialmente pertinente para os eventos de 1941 e 1967 uma vez que existem atualmente edificações em áreas que antes ainda não eram urbanizadas e que podem não ter sido atingidas à época, mas que hoje seriam inundadas caso houvesse uma repetição desses eventos e não se contasse com o sistema de proteção contra cheias.

O número máximo de edificações afetadas em 1941, 1967 e 2015 foi 43.553, 16.749 e 12.815 unidades nessa ordem, com duração total das inundações de 139, 65 e 160 dias, respectivamente. Entretanto, o diferencial do trabalho consistiu no cálculo e exibição de quanto tempo as habitações ficaram atingidas pelo aumento e diminuição do nível d'água diário. Conclui-se, portanto, que os cenários simulados evidenciam a importância do sistema de proteção, uma vez que é capaz de evitar os impactos estimados neste trabalho.

Dentre as principais limitações encontradas pelo trabalho está a escassez de registros limnimétricos para o evento de cheia de 1941. Todavia, os dados estimados via MGB – IPH, foram válidos. Outra dificuldade percebida na pesquisa foi a correspondência entre os dados altimétricos do MDT e os polígonos de edificações devido à não intersecção de centroides de pixels do dado matricial com o dado vetorial.

Complementarmente, para futuras pesquisas, sugere-se o uso de ferramentas de modelagem hidrodinâmica detalhada como o software HEC-RAS, ao invés do emprego de um MDT simplesmente. Ainda, sobre os níveis d'água e as réguas limnimétricas – os quais são especialmente problemáticos –, recomenda-se maior aprofundamento bibliográfico de forma a consolidar as cotas utilizadas. E, por fim, sugere-se a estimativa de custos que os impactos aferidos teriam do ponto de vista econômico.

AGRADECIMENTOS: Os pesquisadores gostariam de agradecer ao CNPq pelas bolsas de estudo e a ANA, SPH, FEPAM e Prefeitura de Porto Alegre pelos dados disponibilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, JCM de. “Datum altimétrico brasileiro” in Cadernos de Geociências, v. 5, p. 69-73, 1990.

Concremat Engenharia. “Estudos preliminares para subsídios ao plano de bacia do Lago Guaíba” in Relatório de Fase A, Fase B e Síntese. Porto Alegre, 2005.

Consórcio Engeplus Aerogeo. “Estudos de alternativas para minimização do efeito das cheias do trecho baixo do Rio Caí/RS” in Estudos hidrológicos básicos. Porto Alegre, 2014.

Consórcio Guaíba. “Relatório final da execução da cobertura laser” in XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, Abr. 2013, pp. 6168 – 6184.

LOPES, Vitória Ache Rocha, et al. “A first integrated modelling of a river-lagoon large-scale hydrological system for forecasting purposes” in Journal Of Hydrology, Ago. 2018, pp. 177-196.

LUZ, Roberto Teixeira, et al. “Acompanhamento do datum altimétrico IMBITUBA através das redes altimétrica e maregráfica do sistema geodésico brasileiro” in VII Congresso Internacional de Ciências da Terra, Santiago, Chile, Out. 2002, pp. 1 – 10.

MARTINBIANCHO, Guilherme Kohut, et al. “Aplicação preliminar do modelo hidrológico MGB-IPH para análise do evento extremo de cheia em 1941 no estado do Rio Grande do Sul” in I Encontro Nacional de Desastres, Porto Alegre, Jul. 2018, pp. 1 - 8.

ZANARDI, Rafael Pereira, et al. “Análise da qualidade dos modelos digitais de terreno e de superfície do município de Porto Alegre” in XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado, Ago. 2014, pp. 1 – 7.