

PROPOSTA DE MITIGAÇÃO DE PROBLEMAS EM DECORRÊNCIA DE EVENTOS DE INUNDAÇÕES NA CIDADE DE ITAPERUNA-RJ

Alex Tavares Silva¹ - altasilva@gmail.com

Larissa Carneiro Rangel² - larissa.rangel@iff.edu.br

Antônio José da Silva Neto³ - ajsneto@iprj.uerj.br

Jader Lugon Junior⁴ - jljunior@iff.edu.br

Wagner Rambaldi Telles⁵ - wtelles@id.uff.br

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, campus Itaperuna - Itaperuna, RJ, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

³Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico - Nova Friburgo, RJ, Brasil

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campus Macaé - Macaé, RJ, Brasil

⁵Universidade Federal Fluminense, Santo Antônio de Pádua, RJ, Brasil

Resumo. Neste artigo, foram realizadas simulações computacionais por meio da plataforma MOHID, com o objetivo de analisar problemas provocados por inundações na cidade de Itaperuna-RJ. Chuvas extremas, com tempo de recorrência de 20 e 100 anos, foram utilizadas com o intuito de investigar a influência da implantação de um reservatório em uma região central da cidade, onde as inundações provocam um impacto mais devastador, de forma a mitigar os problemas. Após as simulações com reservatório, pode-se notar que a região em questão apresentou uma redução na profundidade da coluna d'água.

Keywords: Inundação, Medidas Estruturais, Simulação Computacional, MOHID.

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas hídricos que ocorre no mundo todo é a inundação, causando grandes transtornos para a população local, principalmente para a população ribeirinha. De acordo com Tucci (2015), o resultado da inundação em áreas ribeirinhas se deve ao fato da precipitação ser maior do que a capacidade de drenagem do rio, ou seja, sua calha não comporta a quantidade de água.

Inundações são preocupantes quando atingem a população de uma certa região, desalojando ou até mesmo desabrigando-as. Segundo Salviano (2018), o Brasil está entre os países mais atingidos e, embora inundações sejam fenômenos naturais, passam a ser um grande desastre quando ocorrem em áreas habitadas.

Para analisar os impactos causados pelas inundações, se faz necessário, antes, entender as precipitações que podem ocorrer em forma de chuva, em especial as chuvas extremas. Para Oliveira (2019), as precipitações pluviais constituem o mais importante componente do ciclo hidrológico, sendo o elo entre a água da atmosfera e a do solo.

A intensidade das chuvas pode ser determinada através das relações de intensidade-duração-frequência (IDF) obtidas por meio de séries de dados, suficientemente longas. Festi

(2007) afirma que uma das dificuldades apresentadas em projetos de obras de drenagem é a determinação da precipitação máxima provável a ser utilizada, sendo que esta dificuldade se ameniza em localidades que dispõem de dados pluviométricos.

Nesse contexto, a modelagem hidrológica pode auxiliar no processo de análise do impacto causado pelas chuvas extremas e em propostas para mitigação do problema. Padilha (2017) conclui que modelos hidrológicos têm sido escolhidos como ferramentas de suporte aos instrumentos de gestão e planejamento de recursos hídricos.

Diversas ferramentas computacionais podem ser utilizadas em simulações de inundações com o intuito de auxiliar estudos para mitigação de transtornos causados por esta ação da natureza. Telles *et al.* (2017) realizam um estudo com a plataforma MOHID para simular o escoamento superficial e o comportamento hidráulico da rede de drenagem de uma bacia em Nova Friburgo-RJ. Já Padilha (2017) seleciona três eventos distintos nos anos de 2005, 2008 e 2011 com as áreas inundadas delineadas de forma a calibrar e testar o software *Model Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) avaliando seus resultados e estimativas.

Propor soluções para mitigar os problemas provocados pelas inundações é de suma importância, tendo em vista o transtorno que é para a população. Sistemas de drenagem sustentável, conforme Gonçalves e Nucci (2017), são formas de planejamento do controle do escoamento superficial e da qualidade de água, possibilitando um contato da população com o ecossistema natural.

Diante do exposto, o objetivo desse artigo é utilizar uma ferramenta computacional para simular inundações em diferentes cenários baseados em chuvas extremas e com a implantação de reservatórios na cidade de Itaperuna-RJ, possibilitando uma análise para mitigar os problemas enfrentados pela população local.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Estudo de caso

A região de estudo é a cidade de Itaperuna, localizada no interior do Estado do Rio de Janeiro, com uma população estimada em 103.800 habitantes de acordo com censo realizado em 2020, densidade demográfica de 86,71 habitantes por km^2 e índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) de 0,730 pelo censo de 2010, de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Na Figura 1 apresenta-se a localização do Estado do Rio de Janeiro, enquanto na Fig. 2 é mostrada a localização do município de Itaperuna e seus distritos.

Já na Figura 3, tem-se o mapa 3D de declividade do município de Itaperuna-RJ, com seus principais canais de drenagem, incluindo o rio que banha a cidade, denominado rio Muriaé. O referido rio nasce na zona da mata mineira em Miraflores-MG, pertence a bacia hidrográfica do rio Muriaé e deságua no rio Paraíba do Sul, próximo à cidade de Campos dos Goytacazes-RJ.

2.2 Equação de chuvas intensas

Quando se trata de projetos de engenharia, caracterizar chuvas intensas é fundamental para evitar transtornos. De acordo com Silva *et al.* (2021), ao alcançar a superfície, dependendo de sua intensidade, a precipitação pode causar sérios problemas à região, sendo a vazão responsável pela redução do volume d'água, que depende ainda de outros fatores.

Uma equação específica, Eq. (1), para chuvas intensas na cidade de Itaperuna-RJ foi desenvolvida por Silva *et al.* (2021).

$$i = \frac{(591,08 \times \ln(TR) - 99,99)}{(t + 12)^{0,761}} \quad (1)$$

onde: i é a intensidade (mm/h), \ln é o logaritmo natural, TR é o tempo de recorrência (anos) e t é o tempo de duração (minutos).

Na Tabela 1 são mostrados os valores ajustados da intensidade (mm/h) de precipitação para o tempo de recorrência de 20 e 100 anos, com tempo de duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120, 180, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos.

Tabela 1- Valores ajustados de precipitação (Silva *et al.*, 2021)

| t (min) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 60 | 120 | 180 | 360 | 480 | 600 | 720 | 1440 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| TR 20 | 193,4 | 159,0 | 136,0 | 119,5 | 107,0 | 97,2 | 64,5 | 40,7 | 30,6 | 18,5 | 14,9 | 12,7 | 11,0 | 6,6 |
| TR 100 | 303,6 | 249,5 | 213,5 | 187,6 | 168,0 | 152,5 | 101,2 | 63,8 | 48,0 | 29,0 | 23,4 | 19,9 | 17,3 | 10,3 |

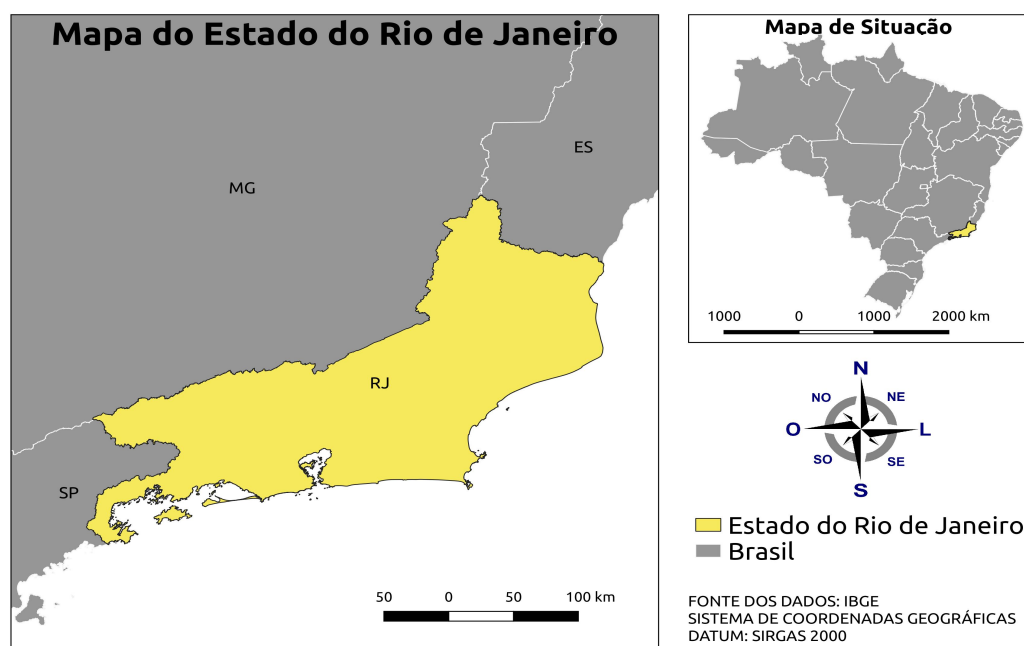


Figura 1- Mapa de localização do Estado do Rio de Janeiro.

Fonte: Os autores.

2.3 Reservatório para drenagem

A região central do município de Itaperuna é ponto de grande transtorno em períodos chuvosos. Como consequência, essa área central foi escolhida para implantação do reservatório. Um reservatório, com formato retangular e capacidade de $50.000 m^3$, foi pensado para uma área em frente ao principal hospital da cidade (Hospital São José do Avaí), que constantemente precisa desocupar os leitos do primeiro andar devido a alagamentos, além de equipamentos de diagnóstico por imagem e outros serviços realizados no primeiro andar.

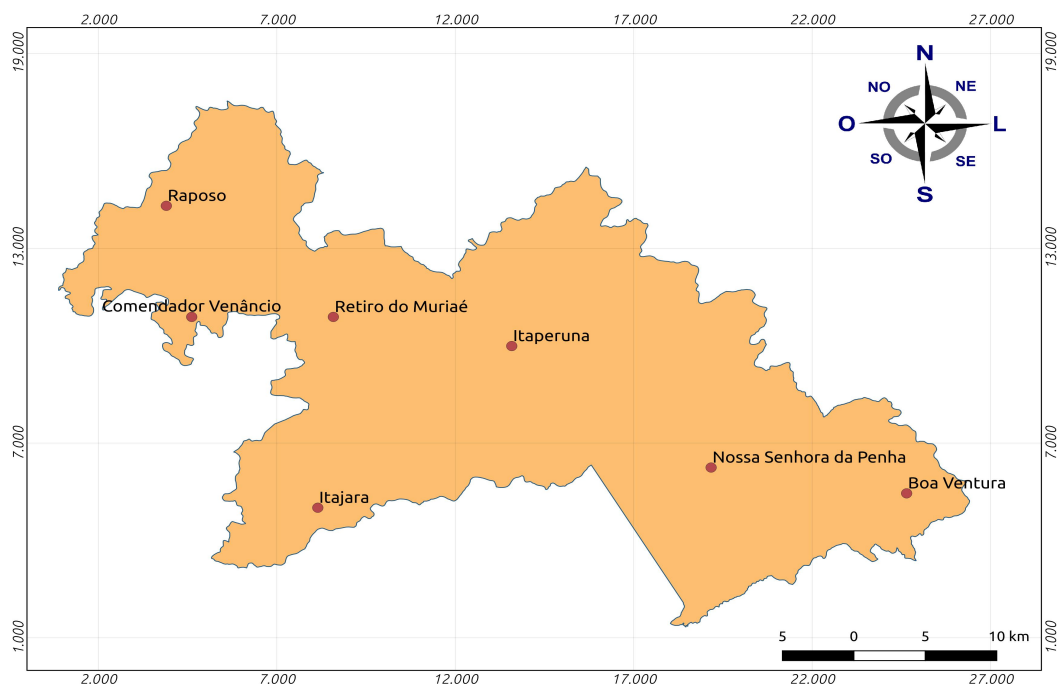


Figura 2- Mapa do município de Itaperuna e seus distritos.
Fonte: Os autores.

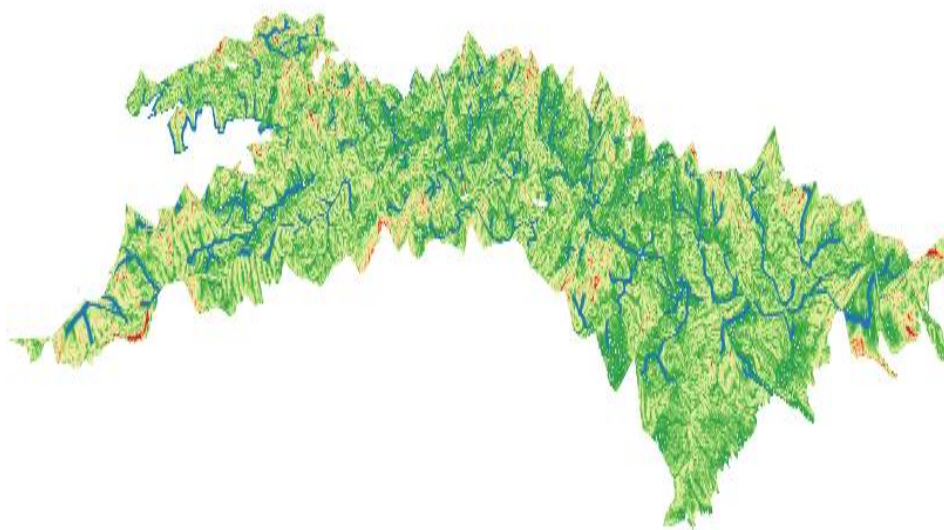


Figura 3- Mapa de declividade do município de Itaperuna em 3D.
Fonte: Os autores.

Esse reservatório de retenção, também conhecido como piscinão, pode ser enterrado ou aberto, sendo uma área em que se possa acumular água. Quando não enterrado, pode ser utilizado para fins recreacionais nas fases secas, como coloca Dias e Antunes (2010). Li *et al.* (2019) ainda afirmam que os reservatórios de retenção têm por função regular a vazão de

saída de forma a atenuar os efeitos das enchentes, visto que retêm a água por certo tempo.

Dias e Antunes (2010) orientam que a implantação de reservatórios não deve ser considerada a única e mais eficiente solução, pois uma série de problemas podem estar relacionados ao uso dos mesmos. Junto com a água, é também depositado nos piscinões, sedimentos e lixo, que levam a gastos com seu desassoreamento. Outra questão é que eles demandam tecnologias para bombeamento que precisam estar em perfeito funcionamento para que não haja extravasamento das águas para a então região já comprometida.

O uso de uma combinação de práticas de gestão de águas pluviais, sejam elas medidas estruturais ou não, é mais eficiente no controle de enchentes do que o uso de uma única estratégia sozinha, afirmam Liew *et al.* (2021). Abre-se então, a discussão para soluções alternativas, conhecidas como infraestrutura verdes e azuis, que associadas a infraestrutura cinza pode reduzir o risco de inundações. Li *et al.* (2019) apontam que essas técnicas alternativas utilizadas isoladamente podem não resolver os problemas de enchentes, especialmente em tempestades extremas. Dessa forma, na proposta para a cidade de Itaperuna, onde há um campo de futebol desativado, é apresentada uma praça na parte superior do reservatório, garantindo a associação com a infraestrutura verde e permitindo o uso da área pela população. Na Figura 4 é mostrada a localização do reservatório proposto para a região de estudos.



Figura 4- Localização de reservatório para drenagem em frente ao hospital.

Fonte: Os autores.

2.4 Plataforma MOHID

O MOHID *Water Modeling System* é um sistema que começou a ser desenvolvido em 1985. Inicialmente, esse modelo era bidimensional e usado em estudos em estuários e áreas costeiras, utilizando uma abordagem clássica de diferenças finitas. Segundo MARETEC (2012), o MOHID *Water Modelling System* é um sistema de modelagem desenvolvido por uma equipe de técnicos colaboradores do centro de investigação *Marine and Environmental Technology*

Research Center (MARETEC), pertencente ao Instituto Superior Técnico (IST) e à Escola de Engenharia da Universidade Técnica de Lisboa.

Para Telles *et al.* (2015), ao se criar uma simulação, a plataforma MOHID apresenta os valores de alguns parâmetros já pré-definidos, mas que podem ser ajustados manualmente ou até mesmo por meio de algoritmos, uma vez que sua linguagem é a ANSI FORTRAN 95.

Além da plataforma MOHID Land, utilizada nesse estudo, que é um modelo integrado que envolve meio atmosférico, mídia porosa, superfície do solo e rede fluvial, existem outras ferramentas numéricas, como o MOHID Water, que é um programa numérico tridimensional para simular corpos de água superficiais, tais como oceanos, estuários e reservatórios e, o MOHID Lagrangian, que se trata de um modelo de rastreador lagrangiano de alto desempenho abrangente, o qual pode funcionar como biblioteca para o MOHID Water ou como um programa autônomo.

2.5 Simulação computacional

Para a construção do modelo digital de terreno e a rede de drenagem para a cidade de Itaperuna-RJ, foram utilizados dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Uma bacia foi delimitada na cidade e, para simular as chuvas intensas, foram utilizados os valores de precipitação ajustados, apresentados na Tabela 1 da Subseção 2.2.

Com o intuito de simular uma chuva mais adequada à realidade, a precipitação ajustada na Tabela 1 é distribuída através do método de blocos alternados, uma vez que, por não se conhecer a distribuição temporal, Tucci (1995) analisa que, para se definir um hidrograma crítico, é comum adotar-se distribuições empíricas que procuram representar as condições mais críticas possíveis da desagregação temporal.

Na Figura 5 é mostrada uma simulação de inundação para o tempo de recorrência de 20 e 100 anos, respectivamente, após 2 horas de precipitação, onde o canal de drenagem está com um grande volume de água. Para a rede de drenagem, foi considerado 0,25 como valor máximo para o coeficiente de Courant e o coeficiente de Manning $0,025 \text{ sm}^{-1/3}$. No escoamento superficial, a profundidade mínima da água foi considerada como zero. A intenção dessa simulação foi demonstrar uma inundação sem acúmulo prévio de água na superfície.

Foi analisada a coluna d'água na bacia em três pontos: na nascente, na região do principal hospital, considerada região central da cidade, e no exutório da bacia. Na Figura 6 é mostrado o resultado da coluna d'água após 2 horas de chuva para o tempo de recorrência de 20 anos (a) e 100 anos (b). O exutório da bacia chega a captar um volume aproximado de 9 metros nas primeiras 2 horas e a região central do hospital chega a alcançar, aproximadamente, 2,5 metros para TR de 100 anos.

Na Figura 7 (a) é exibida a diferença entre a simulação com e sem o reservatório de drenagem para o tempo de recorrência de 20 anos, com diferença um pouco menor do que 0,5 metros de profundidade. Em (b) a diferença entre a simulação com e sem o reservatório de drenagem, apresenta uma diferença de, aproximadamente, 0,5 metros de profundidade, considerando o tempo de recorrência de 100 anos.

3. CONCLUSÕES

Após simulação computacional de uma chuva extrema com tempo de recorrência de 20 e 100 anos, percebeu-se que regiões importantes da cidade tiveram um aumento muito rápido

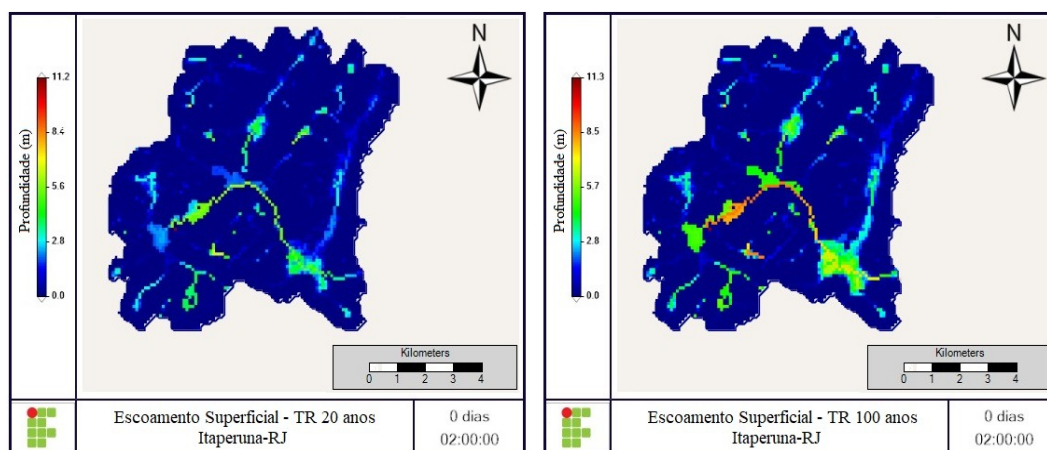


Figura 5- Simulação de inundação em Itaperuna-RJ sem reservatórios.

Fonte: Os autores.

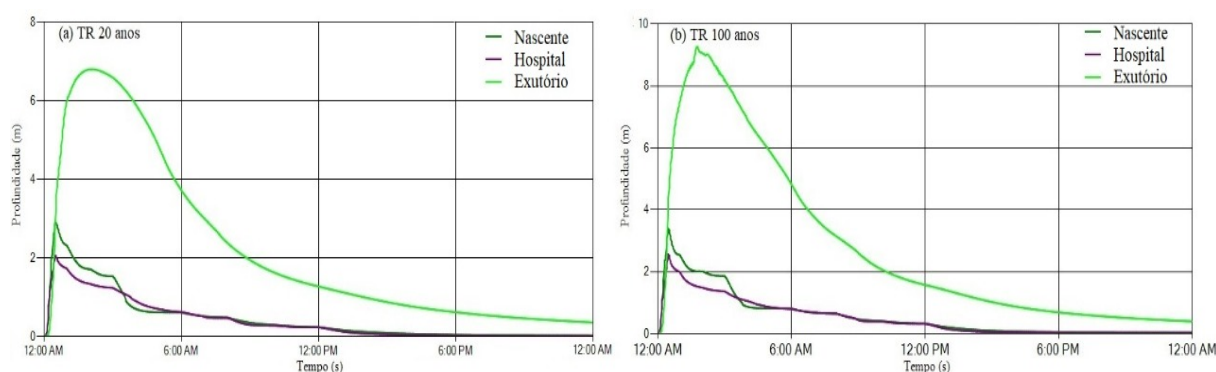


Figura 6- Profundidade d'água ao longo das 24 horas sem reservatório.

Fonte: Os autores.

do volume de água, provocando inundações que podem vir a causar grande transtorno para a cidade.

Na região do hospital, a profundidade da água atinge, aproximadamente, 2,5 metros, o que é suficiente para inutilizar todo o primeiro andar, onde se encontram os principais equipamentos de diagnóstico por imagem, dentre outros, e parte do setor de internação do Sistema Único de Saúde (SUS).

Um reservatório de drenagem foi proposto na região do hospital, com o intuito de mitigar os problemas provocados por inundações. Após nova simulação, com o reservatório, considerando o tempo de recorrência de 20 e 100 anos, notou-se que, para o reservatório implantado, com capacidade aproximada de 50.000 m^3 , em frente ao hospital, houve um decréscimo de volume de, aproximadamente, 0,5 metros para tempo de recorrência de 100 anos, enquanto para tempo de recorrência de 20 anos, o decréscimo do volume foi um pouco menor. A tendência é que a diferença da profundidade d'água com e sem a instalação do reservatório vá diminuindo, uma vez que o mesmo tende a captar toda a água que se transformaria em um escoamento superficial. Mais estudos e simulações se tornam necessários para encontrar soluções mitigatórias para os problemas de inundações na cidade, no entanto, com esse reservatório, considerando chuvas

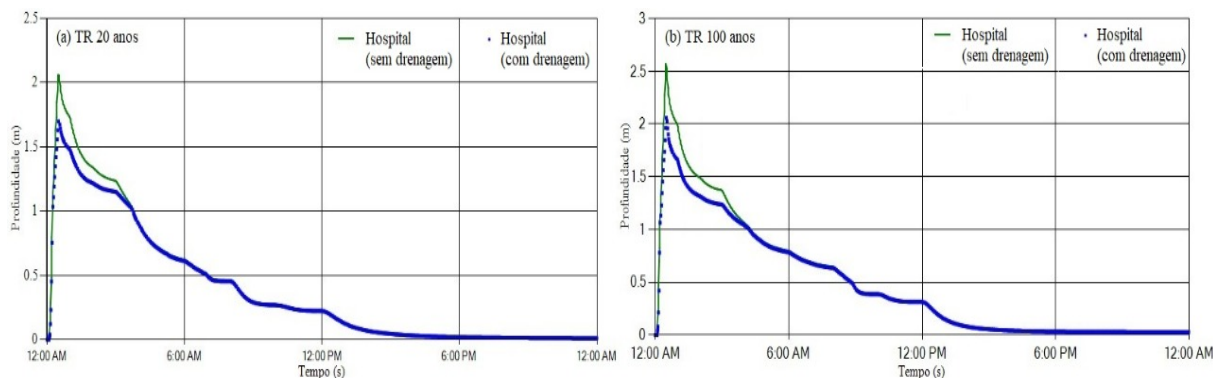


Figura 7- Perfil da coluna d'água na região próxima ao hospital, com e sem implementação do reservatório.

Fonte: Os autores.

extremas com tempo de recorrência menores, muitos problemas poderão ser mitigados.

REFERÊNCIAS

- Dias, F. S.; Antunes, P. T. S. C. (2010), “*Estudo Comparativo de Projeto de Drenagem Convencional e Sustentável para Controle de Escoamento Superficial em Ambientes Urbanos*”, Projeto de Graduação, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Fernandes, R. M. A. S. (2005), “*Modelação Operacional no Estuário do Tejo*”, Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa/Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Festi, A. V. (2007), “*Coletânea das Equações de Chuvas no Brasil*”, *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, São Paulo.
- Gonçalves, F. T.; Nucci, J. C. (2017), “*Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS): Propostas para a Bacia do Rio Juvevê, Curitiba-PR*”, *RA e GAS: Espaço Geográfico em Análise*, eISSN: 2177-2738, Curitiba, 42, 192-209.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), “Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/itaperuna.html>”, Acesso em: 14/08/2021.
- Li, J.; Tao, T.; Kreidler, M.; Burian, S.; Yan, H. (2017), “*Construction Cost-Based Effectiveness Analysis of Green and Grey Infrastructure in Controlling Flood Inundation: A Case Study*”, *Journal of Water Management Modeling*, 27.
- Liew, Y. S.; Mat Desa, S.; Md. Noh, M. N.; Tan, M. L.; Zakaria, N. A.; Chang, C. K. (2021), “*Assessing the Effectiveness of Mitigation Strategies for Flood Risk Reduction in the Segamat River Basin*”, *Sustainability*, 13.
- MARETEC (2012). “*MOHID: Descrição do MOHID*”, 1º ed, Essentia Editora, Campos dos Goytacazes.
- Oliveira, L. F. C. (2019), *Chuvas Extremas no Brasil: Modelos e Aplicações*, Editora da UFLA, Lavras.
- Salviano, M. F. (2018), “*O Sistema de Alerta de Inundação do Rio Muriaé*”, *III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul*, Juiz de Fora, Juiz de Fora, 465-472.
- Silva, A. T.; Lugon Junior, J.; Telles, W. R. (2021), “*Equação de Chuvas Intensas e Vazão da Cidade de Itaperuna-RJ*”, *Anais do 6º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis: Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos*, vol. 3, 104-116.
- Telles, W. R.; Rodrigues, P. P. G. W. ; Silva Neto, A. J. (2015), “*Calibração Automática de um Simulador Aplicado a um Rio de Montanha Empregando Dados Experimentais de Precipitação e Nível – Estudo de Caso: Córrego D’Antas, RJ*”, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21, 143-151.
- Telles, W. R.; Rodrigues, P. P. G. W. ; Silva Neto, A. J. (2017), “*Calibração automática da plataforma MOHID empregando um método estocástico de otimização e dados reais de um evento climático extremo em Nova Friburgo-RJ: parte 2 – análise de sensibilidade e estimativa de parâmetros hidrológicos*”, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 33, 204-211.

- Tucci, C. E. M. (1995), *Inundações Urbanas*, 1ª ed., Editora da UFGRS/ABRH, Porto Alegre.
- Tucci, C. E. M. (2015), *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 4ª ed., Editora da UFGRS/ABRH, Porto Alegre.
- Padilha, V. L. (2017), “*Modelagem Hidrológica Orientada por Eventos de Inundação em Lages/SC*”, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis.

PROPOSAL OF MITIGATION OF PROBLEMS DUE TO FLOOD EVENTS IN THE CITY OF ITAPERUNA-RJ

Abstract. *In this paper, computational simulations were performed through the MOHID platform, with the objective of analyzing problems caused by floods in the city of Itaperuna-RJ. Extreme rainfall, with a recurrence time of 20 and 100 years, was used to investigate the influence of the deployment of a reservoir in a central region of the city, where floods have a more devastating impact in way to mitigate the problems. After the reservoir simulations, it is noted that the region in question presented a reduction in the depth of the water column.*

Keywords: *Flood, Structural Measures, Computational Simulation, MOHID*