19 a 23 de setembro de 2022
Brasília/DF
XIV ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS
IV SIMPÓSIO DE REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS
Promoção: ABRHidro
CT Águas Urbanas

INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DE FENÔMENOS DO TIPO GÊISER EM SISTEMAS DE ÁGUAS PLUVIAIS

Liriane Élen Böck [1]; Leandro Conceição Pinto[2]; Daniel Gustavo Allasia Piccilli[3]; Rutineia Tassi[4]; José Goes Vasconcelos[5]; Bruna Minetto[6]; Cristiano Gabriel Persch[7] & Robson Pachaly[8]

RESUMO – Diferentes estudos vêm avaliando a interação ar-água em tubulações com enchimento rápido e pressurização das redes de drenagem pluvial, a fim de compreender a formação dos gêiseres. As geometrias das redes de drenagem pluvial e chuvas intensas com características específicas têm sido indicadas como possíveis causas para a ocorrência de gêiseres. Esse artigo apresenta resultados de uma análise experimental em escala reduzida, que investigou o fenômeno de gêiser em uma torre de ventilação, causado pela liberação de ar durante a pressurização do sistema de drenagem pluvial. Foram simuladas duas condições de pressurização (lenta e rápida), combinadas com dois volumes de ar armazenado na tubulação, em um total de quatro análises. Os resultados indicam que o bolsão de ar dentro das tubulações provocou variações de elevação da água na torre de ventilação e nas pressões. A pressurização rápida, simulando eventos extremos de precipitação, produziu as maiores pressões, enquanto a pressurização lenta promoveu maiores elevações da água e ar na torre de ventilação. Os resultados indicam a importância de avaliar a possibilidade de ocorrência de gêiseres nos projetos de redes de drenagem pluvial, e a necessidade de desenvolvimento de parâmetros que melhor norteiem o dimensionamento visando a redução dos impactos decorrentes destes fenômenos.

ABSTRACT – Different studies have evaluated the air-water interaction in pipes with rapid filling and pressurization of stormwater systems aiming to understand the geysering formation. The stormwater geometry and intense rainfall with specific characteristics have been indicated as possible causes for the occurrence of geysers. This article presents results of a small-scale experimental analysis, which investigated the geysering phenomenon in a ventilation tower, caused by the release of air during pressurization of the stormwater system. Two pressurization conditions (slow and fast) were simulated, combined with two volumes of air stored in the system, in a total of four analyses. The air pocket inside the system caused variations in the water level rising in the ventilation tower and in the pressures during the analysis. Fast pressurization, simulating extreme rainfall events produced the highest pressures, while slow pressurization promoted higher elevations of the water and air in the ventilation tower. The results indicate the importance of evaluating the possibility of geysering formation in stormwater systems, and the need for developing guidelines for better sizing, aiming to reduce the impacts resulting from these phenomena.

Palavras-Chave – Águas pluviais. Condições extremas. Gêiser.

[1] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: liriane.bock@gmail.com
[2] Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: leandro.pinto@ufsm.br
[3] Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: dallasia@gmail.com
[4] Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: rutineia@gmail.com
[5] Department of Civil Engineering, Auburn University, e-mail: JGV0001@auburn.edu
[6] Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: bruna_minetto@hotmail.com
[7] Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, e-mail: cristianopersch@gmail.com
[8] Department of Civil Engineering, Auburn University, e-mail: robsonleopachaly@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O aumento da frequência e magnitude de eventos extremos de precipitação gera progressivos impactos nos sistemas de drenagem urbana (WRIGHT; BOSMA; LOPEZ-CANTU, 2019). O enchimento rápido do sistema pode causar problemas como pressurização das tubulações e formação de bolsões de ar (VASCONCELOS; WRIGHT, 2011; ZHOU; HICKS; STEFFLER, 2002). Durante os eventos extremos de precipitação esse bolsão de ar é deslocado até os pontos de ventilação, onde é liberado na forma de jatos com mistura de ar e água (MULLER; WANG; VASCONCELOS, 2017), podendo gerar deslocamentos de tampas de bueiros (WANG; VASCONCELOS, 2020; WRIGHT; LEWIS; VASCONCELOS, 2011), transbordamentos em poços de visita e formação de jatos com mistura de ar e água denominados gêiseres (MULLER; WANG; VASCONCELOS, 2017; WRIGHT; LEWIS; VASCONCELOS, 2011).

Os gêiseres de águas pluviais possuem altos picos de pressão e podem atingir mais de 30 m de altura quando liberados em bueiros e poços de visita (CHEGINI; LEON, 2020; VASCONCELOS; WRIGHT, 2006). A ocorrência desses fenômenos impacta negativamente o meio ambiente e a saúde pública, além de ocasionar danos estruturais aos sistemas de drenagem urbana (MULLER; WANG; VASCONCELOS, 2017; VASCONCELOS; WRIGHT, 2011).

Diferentes estudos vêm avaliando a interação ar-água em tubulações com enchimento rápido e pressurização do sistema, a fim de compreender a formação dos gêiseres (CONG; CHAN; LEE, 2017; LEON; ELAYEB; TANG, 2018; LEWIS, 2011; VASCONCELOS; WRIGHT, 2005; WRIGHT et al., 2009). No entanto, ainda não há um consenso sobre os mecanismos que levam à formação dos gêiseres na rede de drenagem, embora pesquisas mais recentes indiquem que a utilização de geometrias inadequadas aliada ao aumento da frequência de chuvas intensas, por exemplo, pode facilitar a ocorrência desses fenômenos (MULLER; WANG; VASCONCELOS, 2017), pois à medida que as cidades crescem somente é realizada a complementação da rede sem planejamento adequado (ALLASIA et al., 2020).

Apesar das contribuições dos estudos já realizados, ainda não é possível implementar diretrizes de projeto, que orientem e auxiliem os projetistas sobre como planejar e incorporar pontos de ventilação com capacidade adequada de suportar tais fenômenos, sem comprometer o sistema (CHEGINI; LEON, 2020; MULLER; WANG; VASCONCELOS, 2017). Uma das limitações observadas nos diferentes estudos está ligada às configurações experimentais avaliadas, que influenciam o comportamento do fenômeno, não representando todas as características que ocorrem

nos sistemas de drenagem reais (VASCONCELOS; WRIGHT, 2009). Assim, a realização de experimentos considerando a interação ar-água em larga escala e com geometrias diferenciadas é capaz de fornecer novas informações sobre esses fenômenos (MULLER; WANG; VASCONCELOS, 2017). Nesse estudo foi realizada uma avaliação experimental da formação de fenômenos do tipo gêiser em modelo de rede de drenagem pluvial em escala reduzida, que buscou representar uma geometria de um sistema real de drenagem urbana e o deslocamento do bolsão de ar em processos de enchimento rápido e lento.

MATERIAL E MÉTODOS

Aparato experimental

O aparato experimental considerado no presente estudo visa reproduzir um modelo em escala de uma fração de rede de drenagem de águas pluviais com geometria diferenciada (Figura 1), incluindo uma tubulação de PVC com diâmetro interno (D_t) único de 97,8 mm em todo o sistema, e torre de gêiser com uma capacidade de amortecimento de coluna de água de 3,59 m, com mesmo diâmetro de tubulação.

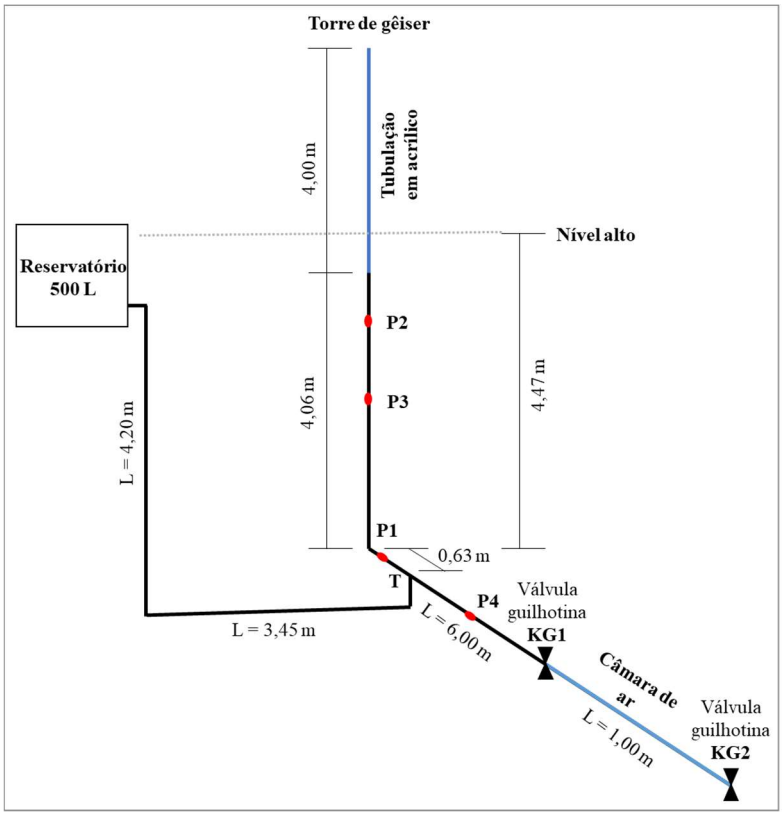

Figura 1 – Representação isométrica do aparato experimental utilizado para avaliar a formação de fenômenos do tipo gêiser

Em uma das extremidades a jusante do sistema está localizada uma tubulação horizontal (câmara de ar) separada do restante por uma válvula guilhotina (KG1). No outro extremo da câmara de ar encontra-se uma segunda válvula guilhotina (KG2), que foi utilizada para retirar a água da câmara de ar após cada teste experimental. Num trecho ligado à conexão em "T", foi adicionado um reservatório de 500 L para fornecer água ao sistema, mantido em nível constante. Ao final do trecho horizontal principal do sistema foi conectado a tubulação vertical de ventilação denominada torre de gêiser. A parte superior da torre de gêiser foi confeccionada em acrílico transparente com o mesmo diâmetro do sistema, a fim de permitir a visualização dos fenômenos a cada ensaio e captura em vídeo para posterior análise. Para aquisição de dados de pressão para análises posteriores foram utilizados 4 sensores, sendo P1 e P2 sensores ultrassônicos de alta velocidade e P3 e P4 sensores Arduíno. Todos os testes foram gravados por uma câmera de vídeo com capacidade de registro de 30 quadros por segundo.

Foram considerados 4 testes para análise, com o nível inicial de água no sistema igual a 4,47 m (medidos a partir da geratriz inferior da tubulação do trecho horizontal), volume de ar de 25 ou 45 L e duas formas de abertura da válvula, rápida ou lenta/rápida, descritas a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 – Condições experimentais avaliadas.

Diâmetro interno (mm)	Nível inicial de água (m)	Volume de ar (L)	Abertura da válvula
97,8	4,47	25	lenta
			rápida
		45	lenta
			rápida

Procedimento experimental

Inicialmente, todas as válvulas eram fechadas e era fornecida água ao sistema até a cota piezométrica de 4,47 m, mantendo-se como referência a geratriz inferior da tubulação horizontal. Com o sistema em condição inercial, os sensores de pressão e a câmera de vídeo foram ligados. Após isso, o bolsão de ar foi liberado no sistema a partir da abertura da KG1, avançando em sentido à tubulação vertical (torre de gêiser). Foram consideradas duas condições de abertura: i) Abertura rápida da válvula ($t < 0,5s$), com liberação repentina do bolsão de ar; ii) Abertura em duas etapas (lenta e rápida) da válvula ($t \approx 20s$), que permitiu a equalização inicial da pressão entre ar e água e após 20s a abertura rápida. Quando o sistema atingia a condição estacionária, os dispositivos de registro eram desligados, finalizando o experimento.

Análise dos dados

Foi determinado o deslocamento vertical do bolsão de ar (interface ar-água ou Y_{Int}) e da superfície livre da água dentro da tubulação (Y_{FS}) ao longo do tempo. Para isso foi realizado o tratamento e análise visual dos vídeos de cada teste experimental. Esses dados também foram utilizados para estimar a velocidade associada ao deslocamento do bolsão de ar e da água à superfície livre na torre de gêiser, dividindo-se o deslocamento por cada intervalo de tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todos os testes experimentais verificou-se a ocorrência de oscilações no nível d'água logo após a abertura da válvula, com duração de alguns segundos, assim como ao final do teste.

Na Figura 2 é apresentado o deslocamento do bolsão de ar na torre de gêiser na condição de abertura rápida da válvula e volume de ar de 45 L. Tal deslocamento progressivo do bolsão de ar foi observado em todos os testes, sendo que a altura da água e do bolsão de ar não ultrapassaram a capacidade máxima da torre de gêiser (3,59 m), ou seja, não foi possível observar a formação de gêiseres na saída da tubulação. Entretanto, o fenômeno de mistura ar-água foi observado dentro da tubulação em acrílico (Figura 2), alcançando a altura máxima de 2,85 m para a condição de abertura lenta da válvula, e atingindo 2,29 m para abertura rápida, considerando o mesmo volume de ar de 45 L.

Conforme Muller, Wang e Vasconcelos (2017), mesmo quando os gêiseres não excedem a altura dos pontos de ventilação e extravasam em superfície, verifica-se a problemática do excesso de pressão na rede e a ocorrência de possíveis danos ao sistema.

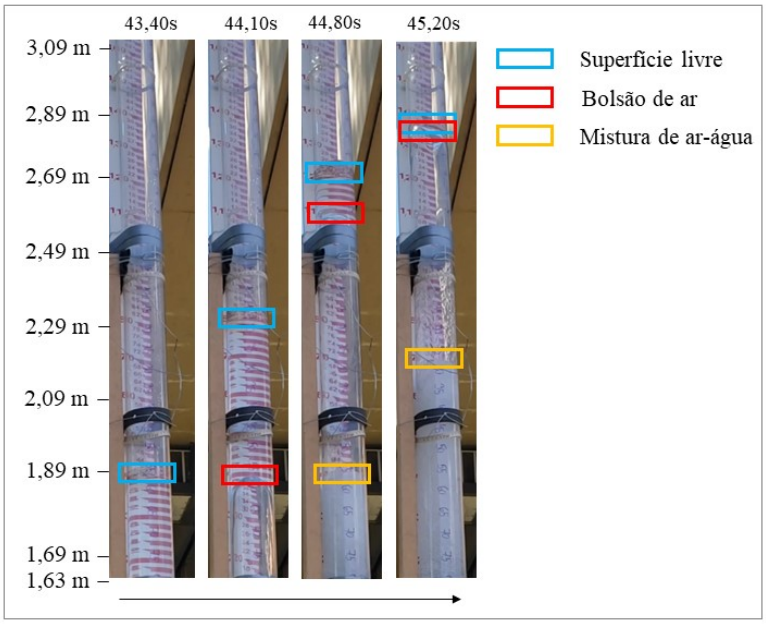

Figura 2 – Formação do gêiser na tubulação de ventilação para a condição de abertura lenta da válvula e volume de ar de 45 L.

Na Figura 3 são apresentados os gráficos de deslocamento do bolsão de ar (Y_{Int}), da superfície livre da água na torre de gêiser (Y_{FS}) e na Figura 4 os sinais de pressão obtidos pelos sensores para cada teste experimental. É possível observar que a condição de abertura lenta da válvula guilhotina ocasiona maiores deslocamentos do bolsão de ar e da superfície livre da água, se comparada à condição de abertura rápida, em que se verifica aumento de 19,7% na altura máxima alcançada pela superfície e pelo bolsão para o volume de ar de 25 L e de 24,5% para o volume de ar de 45 L.

Comparando-se as duas condições de abertura da válvula, a variação no volume de ar liberado gera maiores deslocamentos da superfície livre e do bolsão de ar para o caso com volume de ar de 45 L. Considerando a condição de abertura lenta, observa-se um aumento de aproximadamente 30% na altura máxima alcançada pelo bolsão de ar e superfície livre se comparados os volumes de 25 L e 45 L, enquanto para a condição de abertura rápida essa diferença é ligeiramente menor, em torno de 25%.

A Figura 4 apresenta as pressões obtidas para cada volume de ar e condição de abertura da válvula (abertura lenta – AL e abertura rápida AR). Embora maiores deslocamentos do bolsão de ar tenham sido observados para a condição de abertura lenta, em geral, para todos os sensores verificam-se maiores amplitudes na pressão para a condição de abertura rápida.

Além disso, em todos os sensores observam-se maiores picos de pressão na fase inicial do fenômeno para o volume de 45 L de ar e com abertura rápida. Nota-se também que todos os sensores apresentaram uma antecipação do pico máximo de pressão nestes casos. Os sinais dos sensores para o volume de 25 L de ar são similares, independentemente do tipo de manobra de abertura. Estes resultados indicam que, quanto mais ar há no sistema, maior é a probabilidade de formação de gêiseres na rede e ocorrência de problemas relacionados a tais fenômenos.

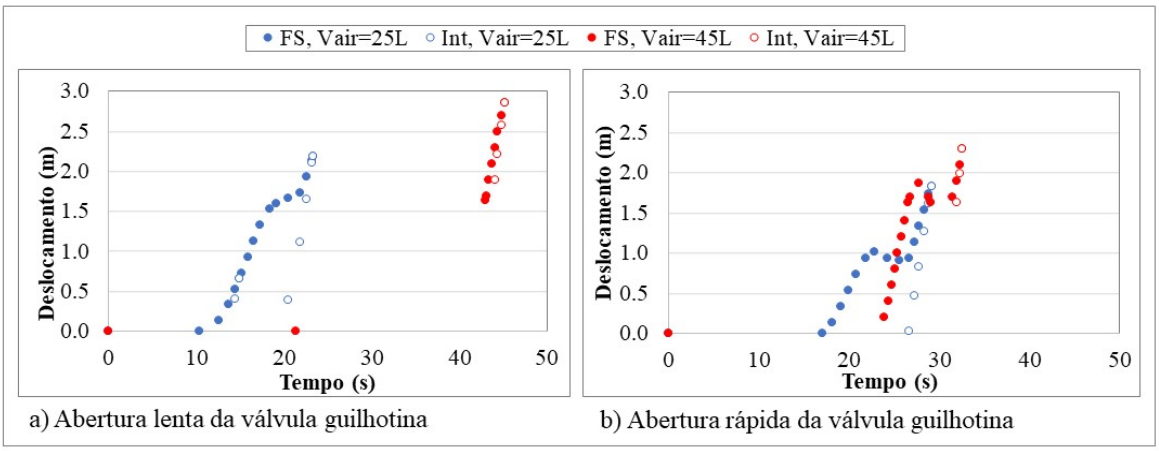

Figura 3 – Deslocamento da superfície livre da água e do bolsão de ar na torre de gêiser

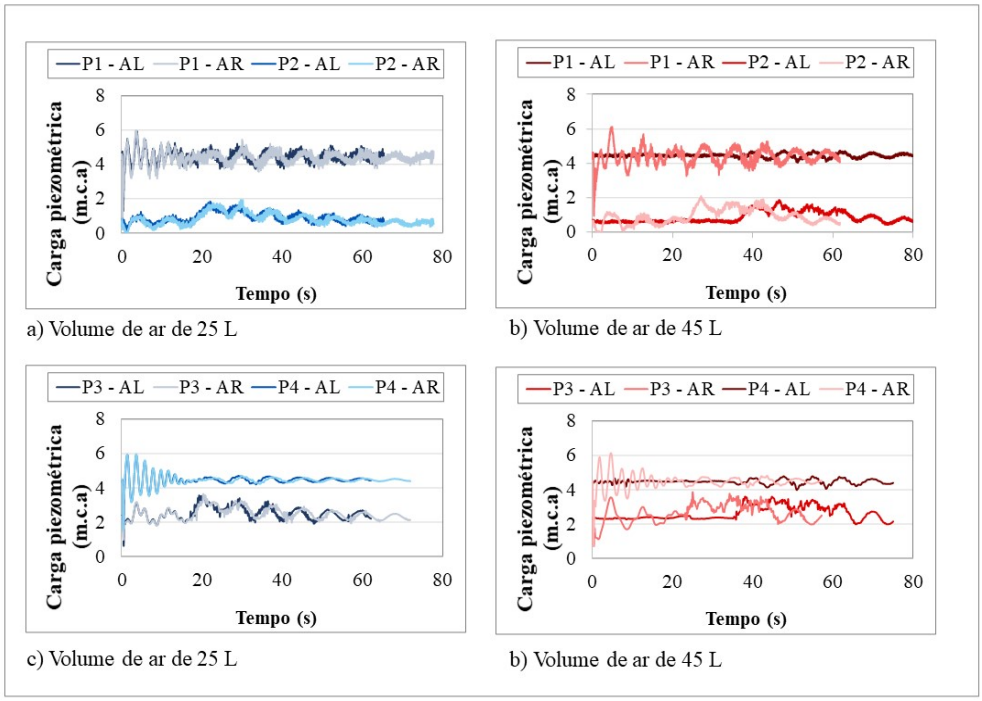

Figura 4 – Análise das pressões em cada ensaio. Denomina-se AL a abertura lenta da válvula guilhotina e AR a abertura rápida

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos até o momento mostram que, considerando uma tubulação de ventilação com diâmetro idêntico ao restante do sistema de drenagem e altura equivalente a aproximadamente 80% da pressão inercial, não há formação de gêiseres na saída da torre; no entanto, houve deslocamento do bolsão de ar dentro das tubulações do sistema, provocando variações diversas de elevação da água e de pressão.

Para a condição de abertura rápida da válvula guilhotina, referente a representação de eventos extremos de precipitação que ocorrem repentinamente, observam-se em geral maiores pressões na rede. Já para condições de abertura lenta, quando é realizada a equalização inicial da pressão entre ar e água, as pressões após a segunda etapa de abertura são inferiores, mas os deslocamentos de água e ar na torre de gêiser são maiores. Assim, é importante destacar que eventos extremos relacionados a chuvas de curta duração e alta intensidade podem gerar maiores oportunidades para a ocorrência destes fenômenos nas redes de drenagem pluvial. Análises complementares estão sendo realizadas com os dados coletados para outras configurações do sistema e serão publicadas nos próximos trabalhos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS

ALLASIA, D. et al. (2020). *"Challenges of modeling stormwater transients in developing countries*". Hydrolink, Madrid (2), pp. 61–63.

CHEGINI, T.; LEON, A.S. 2020. *"Numerical investigation of field-scale geysers in a vertical shaft"*. Journal of Hydraulic Research 58(3), pp. 503–515.

CONG, J.; CHAN, S.N.; LEE, J.H.W. 2017. *"Geyser Formation by Release of Entrapped Air from Horizontal Pipe into Vertical Shaft"*. Journal of Hydraulic Engineering 143(9), pp. 04017039.

LEON, A.S.; ELAYEB, I.S.; TANG, Y. 2018. *"An experimental study on violent geysers in vertical pipes"*. Journal of Hydraulic Research 57(3), pp. 283–294.

LEWIS, J.W. 2011. *"A physical investigation of air/water interactions leading to geyser events in rapid filling pipelines"*. 2011. University of Michigan Ann Arbor, 187 f.

MULLER, K.Z.; WANG, J.; VASCONCELOS, J.G. 2017. *"Water Displacement in Shafts and Geysering Created by Uncontrolled Air Pocket Releases*". Journal of Hydraulic Engineering 143(10), pp. 1–13.

VASCONCELOS, J.G.; WRIGHT, S.J. 2005. *"Experimental Investigation of Surges in a Stormwater Storage Tunnel"*. Journal of Hydraulic Engineering 131(10), pp. 853–861.

VASCONCELOS, J.G.; WRIGHT, S.J. 2011. *"Geysering Generated by Large Air Pockets Released through Water-Filled Ventilation Shafts"*. Journal of Hydraulic Engineering 137(5), pp. 543–555.

VASCONCELOS, J.G.; WRIGHT, S.J. 2009. *"Investigation of rapid filling of poorly ventilated stormwater storage tunnels"*. Journal of Hydraulic Research 47(5), pp. 547–558.

VASCONCELOS, J.G.; WRIGHT, S.J. 2006. *"Mechanisms for air pocket entrapment in stormwater storage tunnels"* in Anais do World Environmental and Water Resources Congress, Omaha, 2006. pp. 1–10.

WANG, J.; VASCONCELOS, J.G. 2020. *"Investigation of Manhole Cover Displacement during Rapid Filling of Stormwater Systems"*. Journal of Hydraulic Engineering 146(4), pp. 1–11.

WRIGHT, S.J. et al. 2009. *"Flow regime transition and air entrapment in combined sewer storage tunnels"*. Journal of Water Management Modeling 235(15), pp. 237–256.

WRIGHT, D.B.; BOSMA, C.D.; LOPEZ-CANTU, T. U.S. 2019. *"Hydrologic Design Standards Insufficient Due to Large Increases in Frequency of Rainfall Extremes"*. Geophysical Research Letters 46(14), pp. 8144–8153.

WRIGHT, S.J.; LEWIS, J.W.; VASCONCELOS, J.G. 2011. *"Geysering in Rapidly Filling Storm-Water Tunnels"*. Journal of Hydraulic Engineering 137(1), pp. 112–115.

WRIGHT, S.J.; LEWIS, J.W.; VASCONCELOS, J.G. 2011. *"Physical Processes Resulting in Geysers in Rapidly Filling Storm-Water Tunnels"*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 137(3), pp. 199–202.

ZHOU, F.; HICKS, F.E.; STEFFLER, P.M. 2002. *"Transient Flow in a Rapidly Filling Horizontal Pipe Containing Trapped Air"*. Journal of Hydraulic Engineering 128(6), pp. 625–634.