

ESTUDO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DOS LIMIARES DE SEGURANÇA DE CRIANÇAS EXPOSTAS A FLUXOS DE ÁGUA

João Gabriel Colares Rodrigues¹; Fernando Mainardi Fan¹; Marina Refatti Fagundes¹; João Gabriel Fontes Maciel¹; Alessandro Gustavo Franck¹; Eder Daniel Teixeira¹ & Guilherme Santanna Castiglio¹

Palavras-Chave – Inundações, Índice de Perigo, Modelagem física.

INTRODUÇÃO

As inundações podem ser consideradas como um dos desastres naturais que mais ocorrem no mundo. Como consequência, podem resultar em perdas humanas, prejuízos econômicos e danos à infraestrutura, afetando milhões de pessoas todos os anos. Segundo Tucci (2004), as inundações ocorrem quando cursos de água e galerias pluviais extravasam para fora do leito de escoamento, afetando áreas ocupadas pela população. Tais eventos são consequência da associação do comportamento natural dos rios e dos processos de urbanização sem o devido planejamento.

Na tentativa de prevenir e mitigar os danos e prejuízos causados pelas inundações, diversas medidas podem ser tomadas. Uma das ferramentas que pode ser utilizada é a elaboração de mapas de risco de inundação. Sobre a elaboração de mapas de risco, pode-se destacar que os mesmos contribuem para definição de áreas sujeitas às inundações e também na determinação do grau de perigo que cada local está sujeito. Isso auxilia na evacuação das populações locais para áreas mais seguras.

Especificamente em relação a segurança das pessoas durante eventos de inundações em áreas urbanas, pode ser afirmado os pedestres estão sujeitos a riscos quando os mesmos se encontram expostos a fluxos de água que excedem sua capacidade de permanecer em pé, ou atravessar as vias de inundação (Russo et al., 2013). Diversos foram os estudos experimentais e teóricos que foram realizados nas últimas décadas que tentaram definir os limiares de segurança das pessoas quando expostas a fluxos de água. O foco de cada estudo variou um pouco, dependendo do objetivo central de cada autor. Por esse motivo, os limiares considerados como seguros por cada uma das pesquisas realizadas também tiveram uma variação significativa. Apesar disso, os limiares de segurança definidos por esses estudos são amplamente utilizados na gestão de inundações e projetos de zoneamento urbano.

Entretanto, a maior parte das pesquisas realizadas teve como foco principal a definição dos limiares de segurança considerando pessoas adultas. Na literatura foram encontrados apenas quatro estudos experimentais relacionados à estabilidade de crianças em fluxos de água. Foster e Cox (1973) testaram a estabilidade de seis crianças com idades de nove a treze anos em um canal variando as condições de profundidade e velocidade do escoamento. Yee (2003) conduziu um estudo similar, alterando a faixa de idades para seis a oito anos. Já Martínez-Gomariz et al. (2016) conduziram um amplo estudo, testando crianças e adultos, e considerando uma série de outras variáveis na perda de estabilidade. Por fim, Bernardini et al. (2020), analisaram de forma experimental a influência da profundidade da enchente na variação das condições de mobilidade humana de crianças e adultos. É válido mencionar dois estudos teóricos (Keller e Mitsch (1993) e Milanesi et al. (2016)), que também buscaram determinar os limiares de estabilidade de crianças em situações de inundação.

Dessa forma, percebe-se que poucos foram os estudos que avaliaram a estabilidade de crianças em fluxos de água. Além disso, os limiares críticos de estabilidade obtidos por esses estudos variam significativamente. Sendo assim, o objetivo do presente estudo é realizar experimentos de forma a contribuir na identificação dos limiares de estabilidade de crianças quando expostas a fluxos de água e complementar os resultados obtidos pelos estudos anteriores.

¹Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BR. marinarf95@hotmail.com.br
IV Encontro Nacional de Desastres (ISSN XXXX-XXXX) 1

METODOLOGIA

Foram realizados ensaios em um canal longo utilizando um manequim para representar a estabilidade de crianças. O canal utilizado para realizar os experimentos possui 28,7 m de comprimento, 0,5 m de largura e 0,55 m de profundidade, podendo atingir vazões de até 120 L/s.

Com relação ao manequim, o mesmo foi escolhido de modo a representar uma criança na faixa de 4 a 6 anos, sendo que suas dimensões estão apresentadas pela Tabela 1. Com a finalidade de verificar se as dimensões do manequim eram compatíveis com as dimensões de uma criança real, o comprimento de cada um de seus membros foi comparado com dados presentes nas tabelas padrão de altura e peso do Manual de Orientação da Avaliação Nutricional da Criança e do Adolescente (Sociedade Brasileira de Pediatria, 2009) e também com dados da ABNT/CB-17 Projeto 17:700-03-008, que apresentam as dimensões médias de cada membro de crianças na faixa de zero a 17 anos. Ao analisar a Tabela 1, nota-se que as dimensões do manequim são compatíveis com as dimensões dos membros de uma criança de aproximadamente 5 anos de idade. Destaca-se que se optou por representar as crianças por um manequim devido ao fato de que a realização de testes com crianças em valores altos de velocidade e vazão pode apresentar riscos à sua segurança.

Tabela 1. Tamanho dos membros do manequim e média dos tamanhos dos membros de uma criança de 5 anos.

Membro	Tamanho manequim (cm)	Tamanho padrão médio – 5 anos (cm)
Altura	107	109,23
Tronco	42	38,25
Perna	52	56,5
Cintura ao joelho (coxa)	26	36,5
Joelho ao tornozelo	26	29,0

Para definição do peso do manequim, também foi consultado o Manual de Orientação da Avaliação Nutricional da Criança e do Adolescente (Sociedade Brasileira de Pediatria, 2009). De acordo com esse manual, crianças de 5 anos de idade tem em média 18,632 kg. Dessa forma, a parte interna do manequim foi preenchida com balões cheios de água e areia de forma a distribuir homogeneamente o peso em seus membros. Além disso, o manequim foi vestido com uma botina tipo galocha tamanho 27 e com um colete salva-vidas.

Os testes de estabilidade com o manequim começaram com baixas profundidades e velocidades do escoamento e foram aumentando até que o manequim caísse e fosse levado pela força do fluxo de água. Várias combinações de profundidades e velocidades foram testadas. Em cada um dos testes foi medida a profundidade e a velocidade do escoamento. A profundidade foi medida com o auxílio de uma régua instalada no canal e a velocidade do escoamento foi determinada com o uso de um micromolinete. Durante os experimentos, foi verificada a estabilidade do manequim considerando três situações: i) perigo baixo – manequim permaneceu estável; ii) perigo moderado – manequim balançou, mas não caiu; ou iii) perigo alto – manequim caiu e foi levado pelo escoamento. Por fim, a avaliação das condições de estabilidade foi feita para duas situações distintas de posição do manequim em relação ao fluxo de água: i) posição de frente para o fluxo e sem mochila (Figura 1B); e ii) posição de lado para o fluxo (Figura 1C).

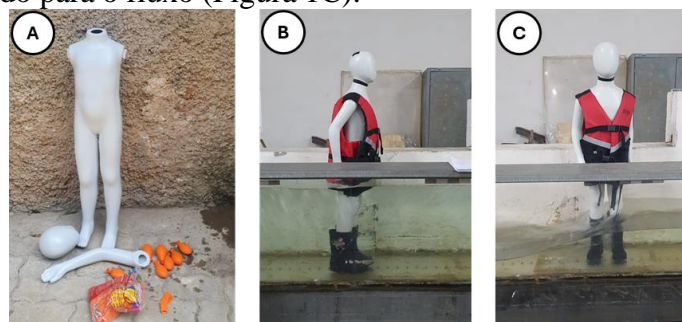


Figura 1. Avaliação das condições de estabilidade do manequim. A) Balões de água utilizadas para dar massa ao manequim. B) Apresenta a avaliação que será realizada considerando o manequim de frente para o fluxo enquanto a C) o manequim foi posicionado de lado.

RESULTADOS PRELIMINARES

Durante os testes as vazões variaram entre 13,3 L/s e 110,5 L/s, resultando em profundidades de 0,125 m a 0,470 m e velocidades de 0,213 m/s a 1,016 m/s. A Figura 2 apresenta os resultados parciais obtidos até o momento em relação às profundidades e velocidades que foram testadas e sua relação com o grau de perigo do escoamento. Ao analisar a figura, percebe-se que para o caso dos ensaios conduzidos com o manequim de frente para o fluxo, somente uma situação apresentou perigo elevado, que foi o momento em que o escoamento apresentou a maior velocidade (1,016 m/s), apesar de ter a menor profundidade (0,22 m). Já para os ensaios conduzidos com o manequim de lado para o fluxo o que ocorreu foi o oposto, a única situação identificada que apresentou perigo alto foi quando a profundidade estava elevada (0,45 m), mas a velocidade estava baixa (0,412 m/s).

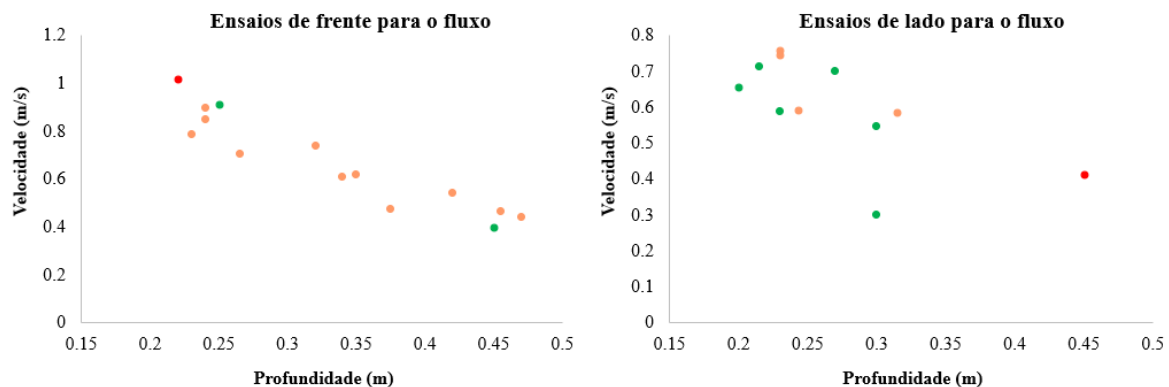


Figura 2. Profundidades e velocidades testadas durante os ensaios de laboratório. As cores dos pontos representam as seguintes situações: i) verde - perigo baixo; ii) laranja - perigo moderado; e iii) vermelho - perigo alto.

Na Figura 3 está apresentada a relação da vazão, com o Índice de Perigo (IP - resultado do produto da profundidade pela velocidade do escoamento) e a estabilidade do manequim. Ao analisar os resultados obtidos considerando o manequim posicionado de lado para o fluxo, percebe-se que conforme o valor da vazão e do IP aumentam, a estabilidade do manequim tende a reduzir, o que não foi observado para o caso dos ensaios realizados com o manequim posicionado de frente para o fluxo. Nesse caso, nota-se que não existe relação entre o aumento da vazão e do IP com a redução da estabilidade. No entanto, poucos ensaios foram realizados até o momento e uma limitação importante é que foi observada a formação de ondas no canal ao alterar a profundidade e a velocidade do fluxo, o que pode ter influenciado nos resultados obtidos.

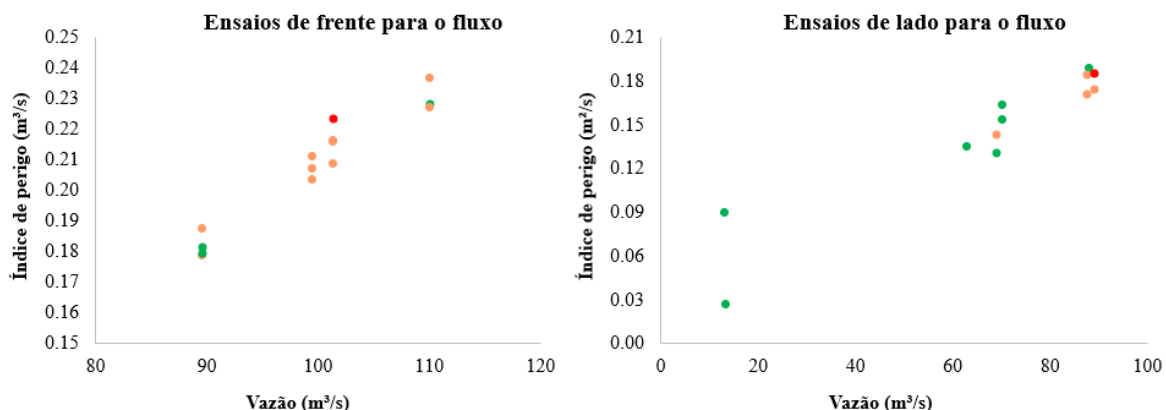


Figura 3. Relação do índice de perigo com a vazão. As cores dos pontos representam as seguintes situações: i) verde - perigo baixo; ii) laranja - perigo moderado; e iii) vermelho - perigo alto.

Por fim, a Figura 4 compara a faixa de valores de IP obtidas com cada uma das classes de perigo do escoamento. Nos ensaios com o manequim de lado para o fluxo é possível verificar uma tendência de aumento dos valores de IP com o aumento do perigo gerado pelo escoamento, sendo de aproximadamente 0,18 m²/s o valor crítico até o momento. Entretanto, como demonstrado na Figura

3, essa tendência não é observada para a situação em que o manequim está posicionado de frente para o fluxo de água. Desta forma, considerando os resultados preliminares, é possível perceber que o manequim tende a ficar mais estável quando está posicionado de frente para o fluxo, pois foram identificadas situações consideradas como de perigo baixo para valores de IP até 0,228 m²/s.

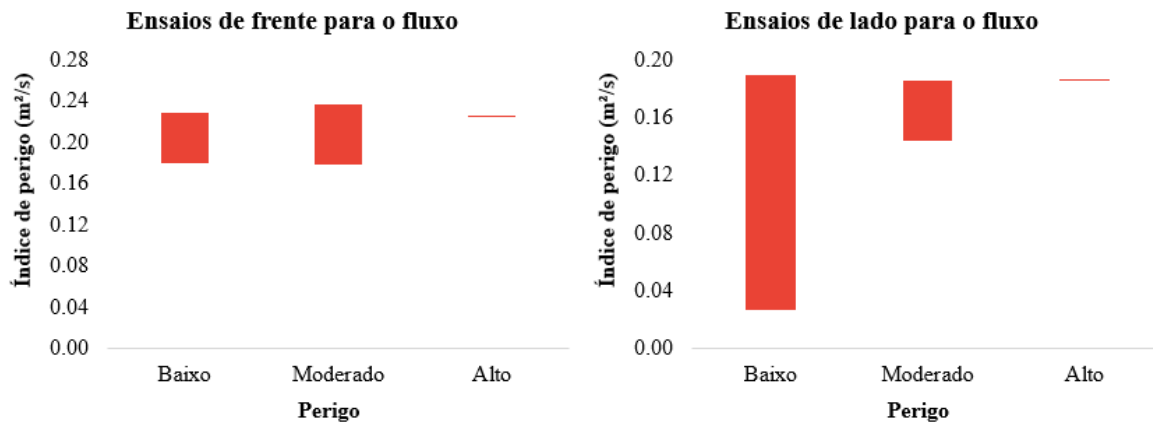


Figura 4. Faixa de valores do índice de perigo de acordo com o perigo do escoamento.

CONCLUSÕES

Os ensaios com o manequim ainda estão em andamento, desta forma, o presente trabalho apresenta apenas alguns dos resultados preliminares obtidos. Até o momento, poucos foram os testes realizados e, por esse motivo, os resultados ainda são pouco conclusivos, não permitindo, assim, a identificação das condições hidráulicas que definem os limiares de estabilidade. Nos próximos meses, mais testes serão realizados em laboratório, considerando, além das condições apresentadas, situações em que o manequim carrega uma mochila e situações de irregularidades do leito.

REFERÊNCIAS

- BERNARDINI, G.; QUAGLIARINI, E.; D'ORAZIO, M. & BROCCINI, M. (2020). *Towards the simulation of flood evacuation in urban scenarios: Experiments to estimate human motion speed in floodwaters*. Safety science, v. 123, p. 104563.
- FOSTER, D.N. & COX, R.J. (1973). *Stability of Children on Roads Used as Floodways*. Technical Report No. 73/13, Water Research Laboratory, The University of New South Wales, Manly Vale, NSW/AUS.
- KELLER, R.J & MITSCH, B. (1993). *Safety Aspects of the Design of Roadways as Floodways*, Research Report No. 69. Urban Water Research Association of Australia.
- MARTÍNEZ-GOMARIZ, E.; GÓMEZ, M. & RUSSO, B. (2016). *Experimental study of the stability of pedestrians exposed to urban pluvial flooding*. Natural hazards, v. 82, n. 2, p. 1259-1278.
- MILANESI, L.; PILOTTI, M.; RANZI, R. (2015). *A conceptual model of people's vulnerability to floods*. Water Resources Research, v. 51, n. 1, p. 182-197.
- RUSSO, B.; GÓMEZ, M. & MACCHIONE, F. (2013). *Pedestrian hazard criteria for flooded urban areas*. Natural hazards, v. 69, p. 251-265.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE PEDIATRIA. (2009). *Avaliação Nutricional da Criança e do Adolescente – Manual de Orientação*. Departamento Científico de Nutrologia.
- TUCCI, CARLOS E. M. (2004). *Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil*. Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 1, p. 59-73.
- TUCCI, CARLOS E. M. II. BERTONI, JUAN CARLOS. (2003). *Inundações Urbanas na América do Sul*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre/RS, p. 51-89.
- WOLMAN, G.A. (1954). *A method for sampling Coarse River bed material*. Transactions American Geophysical Union, v. 35, n. 6, p. 951-956, 1954.
- YEE, M. (2003). *Human stability in floodways*. Undergraduate Honours Thesis. School of Civil and Environmental Engineering, University of New South Wales, Sydney, Australia.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e a CAPES pelas bolsas de pesquisa e ao Laboratório de Obras Hidráulicas do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS por ceder as instalações para realização dos experimentos.