

## NÍVEIS DE RESILIÊNCIA A INUNDAÇÕES COMO CRITÉRIO DE PROJETO NA DRENAGEM URBANA

*Andre S.K.B. Sosnoski<sup>1\*</sup> & Sara Pion<sup>2</sup> & Sandra Uemura<sup>3</sup> & Flavio Conde<sup>4</sup> & Mario T.L. Barros<sup>5</sup> & Pedro Algodoal<sup>6</sup>*

**Resumo** – A abordagem usual, com medidas estruturais para a proteção e redução de inundações é fundamental para a resolução de problemas em grandes cidades ao redor do mundo. Apesar da aplicação destas medidas, as cidades continuam vulneráveis a eventos críticos de inundação. Continua existindo o paradigma do controle das inundações, que devem ser prevenidas de qualquer forma, uma vez que suas consequências são desastrosas a população. As medidas convencionais tem basicamente o objetivo de afastar a água das edificações, o que por consequência acaba excluindo rios e córregos da convivência das cidades. As medidas de resiliência em contrapartida permitem a entrada e convivência com a água nas propriedades, promovendo rápida recuperação das estruturas, população e comunidades. Medidas como a aplicação de níveis de resiliência ajudam na efetiva proteção das estruturas urbanas e na redução do prejuízo decorrente dos eventos de inundação. Sua aplicação em meio urbano pode ser utilizada como critério de projeto e planejamento para futuras obras de drenagem urbana. Ferramentas de planejamento como o Caderno de Bacia Hidrográfica do Córrego Mandaqui, PMSP (2016) já incluem em seus estudos a possibilidade de utilizar as áreas inundáveis como áreas de aplicação das medidas de convivência com as cheias. Neste artigo será apresentada uma visão da aplicação de níveis de resiliência na bacia do córrego Lauzane, contribuinte direito do córrego Mandaqui, do município de São Paulo.

**Palavras-Chave** – Nível de Resiliência; Drenagem urbana, Modelagem Hidráulica.

## FLOOD RESILIENCE LEVEL AS URBAN DRAINAGE DESIGN CRITERIA

**Abstract** – The usual approach with structural measures for flood protection and reduction is essential to solving problems of flooding in large cities around the world. Despite the implementation of these measures, cities remain vulnerable to critical flood events. The paradigm of flood control stills exists. It is assumed that they need to be prevented in every way, since these events have innumerable negative impacts on the population. Thus, the measures basically have the objective of removing water from buildings, which consequently exclude rivers and streams from the coexistence of cities. The resilience measures, in counterpart, allow the entrance and coexistence with water in properties, promoting fast recovery of the structures, population and communities. Measures such as the application of resilience levels help in the effective protection of urban structures and in reducing the damage resulting from flood events. Its urban application can be used as a design and planning criterion for future urban drainage works. Planning tools such as the Mandaqui stream drainage book, PMSP (2016) already include in their studies the possibility of using flood areas as areas of application of measures to coexist with floods. This paper will present a view of the application of resilience levels in the Lauzane stream basin, a right contributor to the Mandaqui Stream, in the city of São Paulo.

**Keywords** – Resilience Level; Urban Drainage; Hydraulic Modeling.

<sup>1\*</sup> Afiliação: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, andre.sosnoski@fcth.br.

<sup>2</sup> Afiliação: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, sara.pion@fcth.br.

<sup>3</sup> Afiliação: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, sandra@fcth.br.

<sup>4</sup> Afiliação: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, conde@fcth.br.

<sup>5</sup> Afiliação: Prof. Titular Universidade de São Paulo, mtbarros@usp.br.

<sup>6</sup> Afiliação: Prefeitura de São Paulo, pcalgodoal@prefeitura.sp.gov.br.

## INTRODUÇÃO

No controle de cheias em áreas urbanas, já é prática usual considerar a necessidade de não somente avaliar a resolução das inundações a partir de obras como canalizações e reservatórios, como também aplicar medidas de controle dispersas nas bacias. Estas medidas visam a redução do escoamento superficial e a melhoria em geral das condições de drenagem.

Inundações tem caráter natural e, quando inseridas em ambientes urbanos, tem seu caráter amplamente modificado pelos impactos da urbanização, majorando sua magnitude e frequência (Carneiro e Miguez, 2011)

Apesar de medidas estruturantes e dispersas serem consolidadas mundialmente como medidas eficazes de controle do escoamento superficial, surge a possibilidade de aproximar a engenharia de medidas de convivência com as inundações. Esta alternativa utiliza o conceito de resiliência com o objetivo de promover o controle de danos e melhoria da qualidade de vida em regiões inundáveis.

Resiliência é definida como a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade, exposto a riscos potenciais, de se adaptar, resistindo ou transformando-se, a fim de atingir e manter um nível aceitável de funcionamento e segurança estrutural. (UN/ISDR,2004).

Introduz-se, então, a estratégia de delimitar áreas onde é possível manter um nível aceitável de segurança, apesar da ocorrência de inundações. Por níveis de resiliência entendem-se os níveis da água abaixo dos quais as edificações e estruturas estão adaptadas aos efeitos das inundações calculadas para tempos de retorno (TRs) especificados em projeto.

Segundo dados do Department for Environment Food & Rural Affairs (DEFRA, 2016) a eficiência da aplicação de melhorias internas como, por exemplo, paredes e pisos a prova d'água e mover conexões elétricas para um nível mais alto, é considerada maior do que comportas, barragens e válvulas de proteção ao retorno de esgoto.

Os efeitos da aplicação dos níveis de resiliência são também efetivos quando se leva em consideração a possibilidade de abatimento dos custos de recuperação mitigação dos danos. Como é mencionado por DEFRA, os valores dos seguros de áreas inundáveis e cálculo de danos são menores quando aplicada a medida.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia para o planejamento, projeto e delimitação das áreas suscetíveis e permissíveis a inundações, a partir da estimativa de níveis de resiliência. Os níveis são calculados para delimitar uma área inundável admissível na bacia, e adaptá-las as cheias, enquanto aplicam-se medidas estruturais para que a cheia não ultrapasse a área estipulada, para precipitações de tempo de retorno mais altos que os projetados. Os limites são definidos com a ajuda de estudos de impacto e pela vulnerabilidade da área ocupada, além de obedecer aos critérios de projeto da rede de drenagem urbana do local do estudo.

Estes níveis serão utilizados como critério de projeto para auxílio no planejamento de intervenções e definição de estratégias de gestão da drenagem urbana. Para demonstrar possível cenário de utilização deste critério, foi selecionada como estudo de caso, uma área da bacia hidrográfica do córrego Lauzane, afluente do córrego Mandaqui, localizado na zona norte do município de São Paulo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Metodologia de Estudo

Ao promover a aplicação de medidas de resiliência, a criação de procedimentos e métodos de abordagem torna o procedimento mais sólido e dão objetividade aos estudos. Existem processos definidos para os estudos de resiliência a inundações como os “seis passos” (White et al., 2013), que elencam os passos de entender o risco, planejar as ações, pesquisas de campo, projeto e especificações técnicas, instalação e a operação e manutenção das medidas.

Este artigo trabalha com o entendimento do risco e planejamento de ações do processo descrito acima. Será descrito nele a metodologia para a aplicação dos níveis de resiliência e quais as etapas a serem seguidas até que seja necessário até o projeto de intervenção.

Inicialmente, definem-se os pontos de interesse críticos da bacia. Estes pontos são necessários para identificar as áreas e edificações que não podem sofrer com inundações dentro do tempo de retorno proposto. Nestes locais, o planejamento de drenagem deve utilizar de medidas necessárias para afastar totalmente a inundação, protegendo-os da entrada de água e garantindo a integridade de rotas de fuga.

Em um segundo momento, a bacia hidrográfica na qual será realizado o estudo deve ser submetida a simulações em modelos matemáticos para obtenção das manchas de inundação, que variam conforme a intensidade do evento de chuva simulado. Os modelos matemáticos de representação de bacia auxiliam nesta etapa, utilizando as informações de topografia, cadastrais de drenagem, viário e de edificações para delimitar com a melhor precisão possível os limites das manchas.

Na Figura 1, são apresentadas as áreas inundáveis resultantes de diferentes intensidades da precipitação, representadas pela variação de TRs. Neste estudo, foi utilizado o modelo SWMM (Storm Water Management Model), por meio da plataforma PCSWMM (CHIWATER, 2017), onde foram simuladas as condições encontradas na bacia, obtidas a partir de estudos da evolução do uso e ocupação do solo para os anos subsequentes até o cenário de planejamento. A eficácia desta metodologia para determinar as áreas susceptíveis a inundações já foi consolidada em estudos anteriores (Sosnoski et al, 2015; Oliveira et al, 2014).

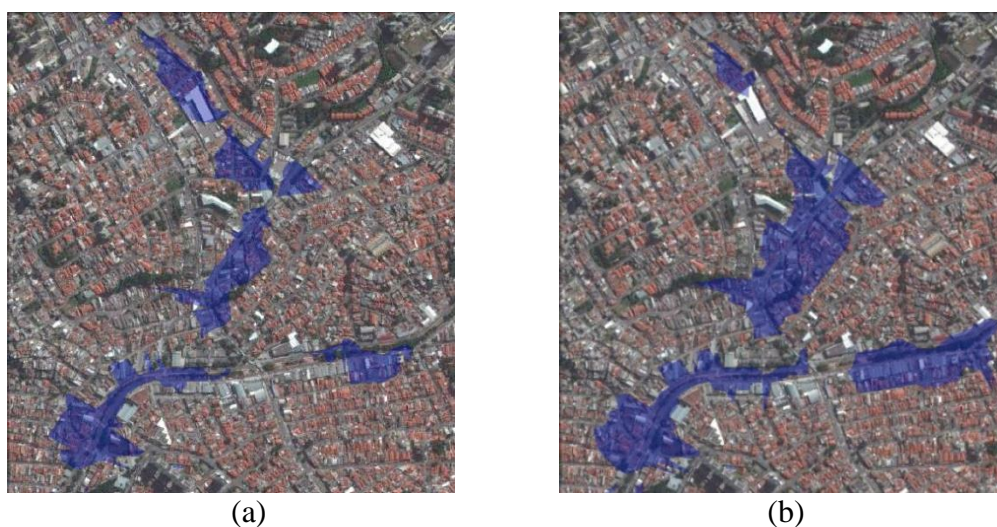


Figura 1 – (a) Mancha de TR 25 anos; Mancha de TR 100 anos

Com as estimativas de área de inundação do modelo, define-se então o período de retorno limite para o qual a área de inundação resultante não atinja os pontos críticos anteriormente identifi-

cados. Esta área de inundação corresponderá ao nível de resiliência, delimitando a área de inundação admissível. Conforme o conceito de resiliência devem ser inseridas, nesta região, medidas de convivência com as cheias, como adaptações às edificações para permitir a entrada da água, exigindo a retirada de barreiras e a adaptação das estruturas para que a água enfrente menor resistência, consequentemente causando menos danos, (O'Hare e White, 2013).

Em seguida, identificam-se as zonas de inundação recorrente na bacia em estudo, obtidas por meio de levantamentos de campo, entrevistas com moradores, noticiários, dados de subprefeituras e/ou informações do Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE).

O modelo da bacia, com sua respectiva rede de drenagem atual e condições máximas permitidas de uso e ocupação de solo, é submetido a simulação com precipitação equivalente ao período de retorno de proteção desejado e, a partir dos resultados, propõem-se medidas estruturais visando a diminuição da mancha de inundação até o limite da área correspondente ao nível de resiliência. Em outras palavras, permite-se que ocorra inundação e projetam-se medidas de controle de cheias que limitem a área de inundação ao nível de resiliência.

## ESTUDO DE CASO

O estudo de caso abordado neste artigo é relativo à bacia do córrego Mandaqui, mais especificamente o afluente do córrego Lauzane.

A bacia está contida na região norte do Município de São Paulo. A administração municipal na Bacia do Corrego Mandaqui é feita por duas Prefeituras Regionais, Casa Verde e Santana/Tucuruvi.

Assim como outras bacias do Município de São Paulo, ela sofre com a deficiência de planejamento na ocupação do território. Devido a este fato, houve a ocupação de áreas previamente ocupadas pelas áreas de várzea maior e menor dos principais córregos e rios.

Nos estudos estatísticos das inundações nestas regiões fica clara a reincidência de inundações e danos ao patrimônio e à vida (PMSP, 2016). A seguir é apresentada a identificação de inundações do estudo do Caderno de Drenagem do Mandaqui (PMSP, 2016).

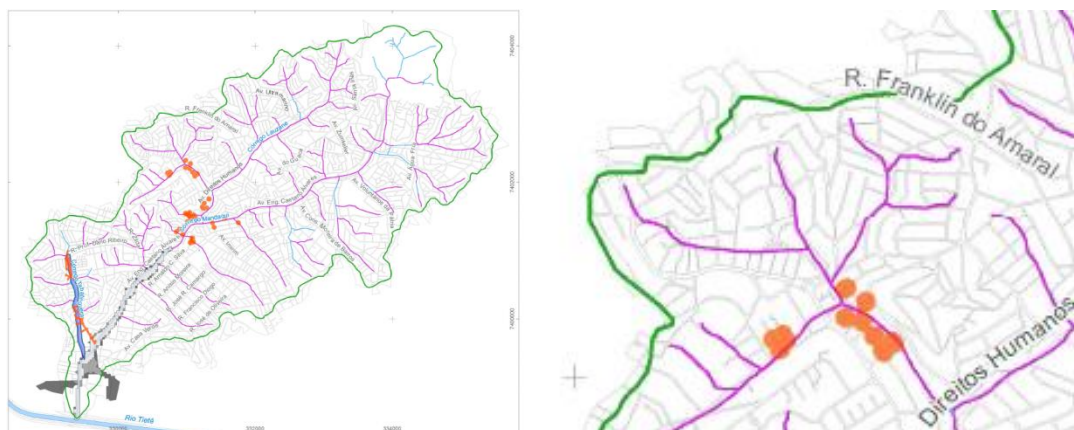


Figura 2 – Áreas de inundação identificadas

A principal estrutura de drenagem da bacia é o canal do córrego Mandaqui, que foi projetado tendo como parâmetro precipitações de TR de 25 anos. As demais estruturas são projetadas para precipitações menos intensas. Os estudos de soluções para proteger a bacia para TRs mais intensos como 100 anos foram realizados pelo Plano Diretor de Macro Drenagem do Alto Tiête 3 (PDMAT3, 2012), e estudam somente os impactos no canal principal.



No entanto, as sub-bacias apresentam problemas de inundação recorrentes como os identificados na Figura 2, necessitando então de projetos de drenagem mais pontuais para sanar as situações de risco.

## RESULTADOS

No afluente detalhado na Figura 2, foi detectada, em visita a campo, ocupação intensa da região de várzea, que impede o fluxo e inundação naturais das margens. A visita gerou um relatório fotográfico (PMSP, 2016), do qual foram selecionadas as imagens apresentadas na Figura 3.



Figura 3 – Acervo fotográfico das condições do afluente

Seguindo a metodologia proposta, foi realizada a identificação inicial de pontos de interesse críticos. No trecho estudado a predominância da ocupação é residencial, de forma que não foram encontrados lotes que devem ser mantidos totalmente afastados de inundações.

Foram simuladas as situações nas quais o afluente é submetido a precipitações de TR 10, 25, 50 e 100 anos, verificando a extensão das manchas de inundação e a diferença das áreas atingidas para cada solicitação.

Os resultados podem ser visualizados na Figura 4, em forma de mapa, com a demarcação dos máximos atingidos na simulação matemática, comparando os resultados matemáticos de nível com as informações de terreno.

O terreno utilizado corresponde ao Modelo Digital da Cidade da Prefeitura de São Paulo (MDC, 2010), com resolução de 1 x 1 m.

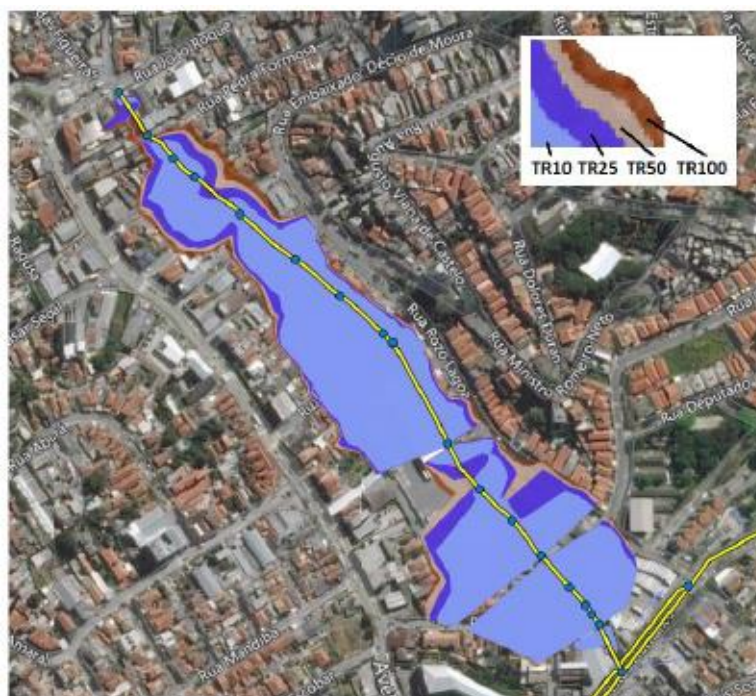


Figura 4 – Manchas de inundação simuladas

Escolheu-se a mancha calculada para a precipitação de TR 10 anos como sendo a de extensão máxima desejada para a região. O nível atingido com esta precipitação será designado como nível de resiliência para esta sub-bacia.

O nível de resiliência deve permitir que, para uma solicitação de até 10 anos de recorrência, a área inundável esteja totalmente adaptada à convivência com as águas. Nessa área, verifica-se a inundação admissível e são definidas quais edificações devem sofrer alterações ou devem ter sua ocupação condicionada à adaptação com medidas de resiliência.

As medidas propostas são as apresentadas a seguir na Figura 5.

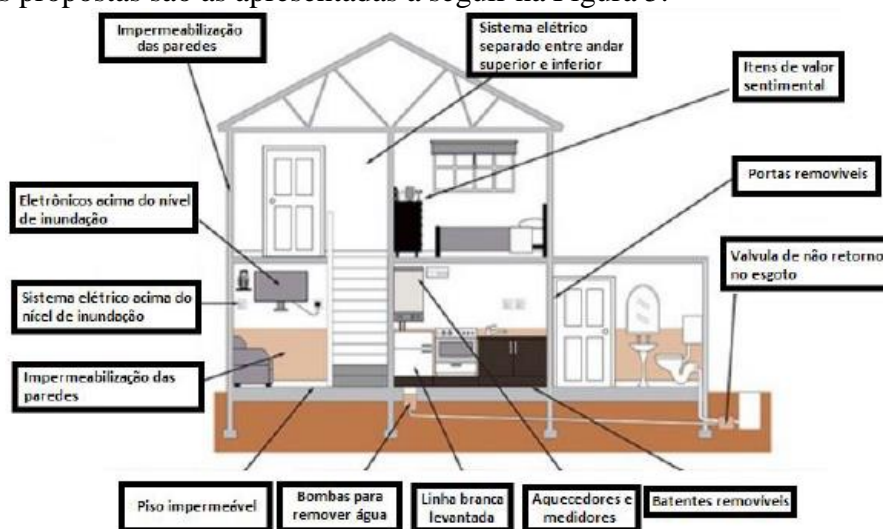


Figura 5 – Medidas propostas (South Lakeland, 2017)

Ao delimitar essa área são simuladas as condições de solicitação superiores a 10 anos, analisando quais medidas estruturais devem ser desenvolvidas para manter a mancha de inundação no

máximo equivalente ao nível de resiliência. Neste caso, foi projetada uma galeria de reforço com restrições ao longo do canal para melhor aproveitamento do volume projetado das mesmas.

A galeria permite que para solicitação de TR 100 anos, a mancha atinja a área que era naturalmente alagada com solicitações de TR 10 anos.

Ao analisar as dimensões das medidas estruturais aplicadas com e sem a aplicação dos níveis de resiliência, é possível notar que elas foram reduzidas, tanto em extensão quanto em dimensão da seção.

## CONCLUSÕES

O uso do nível de resiliência como parâmetro para projetar e planejar bacias urbanas é uma oportunidade para a melhor gestão da drenagem urbana. Ao analisar bacias altamente ocupadas, como a apresentada no estudo de caso abordado neste artigo, a determinação do nível para o qual são admissíveis inundações periódicas reduz consideravelmente o risco e custos envolvidos.

Como a proteção desejada nas bacias do Município de São Paulo é de TR 100 anos, é possível reduzir os custos aplicados com medidas estruturais, reduzindo o tamanho e extensão das obras, e conscientizando a população da possibilidade de inundação de sua residência, preparando-a para situações de risco.

Considerando estes aspectos, o emprego dos níveis de resiliência migra a abordagem de defesa contra enchentes para manejo do risco de inundação. No entanto, o procedimento de planejamento e cálculo das medidas a serem instaladas na bacia se torna mais complexo. É necessária a análise mais criteriosa das edificações a serem atingidas. Há também a necessidade de criar múltiplos cenários e verificar, para cada um, qual seria o impacto e se existe a manutenção dos níveis de resiliência.

Apesar destes pontos, o uso dos níveis de resiliência é indicado para futuras intervenções em bacias altamente ocupadas.

## AGRADECIMENTOS

A Prefeitura Municipal de São Paulo, Secretaria de Serviços e Obras e FCTH pelo empenho de todos os envolvidos no projeto e fornecimento de dados.

## REFERÊNCIAS

CARNEIRO, P. R. F.; MIGUEZ, M. G.. Controle de inundações em bacias hidrográficas metropolitanas. São Paulo: Annablume, 2011.

CHI WATER, Computational Hydraulics International. <http://www.chiwater.com/>, 2017.

PMSP, Caderno de Bacia Hidrográfica : Córrego Mandaqui (2016). Prefeitura Municipal de São Paulo – São Paulo : SIURB/FCTH, 2016. 130 p. ISBN 978-85-93064-05-0.

MAPA DIGITAL DA CIDADE (MDC), Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano - SMDU, 2010.

OLIVEIRA C. P. M.; DA SILVA C.V.F.; SOSNOSKI A.S.K.B.; BOZZINI P.L.; ROSSI D.M.; UEMURA S.; CONDE F.; Warning System Based on Real-time Flood Forecasts in São Paulo, Brazil. In *Anais do 6th International Conference on Flood Management*, São Paulo, 2014.

O'HARE P.; WHITE I.; Deconstruction resilience: lessons from planning practice. Plan Pract Res 2013, 28, (3), 175-279.

PDMAT3, Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tiête, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2012.

SOUTH LAKELAND. 5K property owner flood resilience grant. Disponível em:  
<https://www.southlakeland.gov.uk/flooding/5k-property-owner-flood-resilience-grant/>; 2017.

SOSNOSKI, A. S. K. B.; PION, S. M.; UEMURA, S.; CONDE, F.; Calibração e Validação de Modelo de Previsão de Inundações em Tempo Real do Município de São Paulo. In Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, 2015.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION.  
<http://www.unisdr.org/>, 2017.

WHITE I.; O'HARE P.; LAWSON N.; GARVIN S.; CONNELLY A.. Six steps to properly level flood resilience – guidance for property owners, Manchester, UK. 2013. Disponível em:  
<http://www.smartfloodprotection.com>.