

IX-013 - AVALIAÇÃO DOS PREJUÍZOS DE INUNDAÇÕES EM UM CENÁRIO DE INTERVENÇÕES PONTUAIS NA BACIA DO RIO ACARI, RJ

Luciana Fernandes Guimarães⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestra em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ).

Francis Martins Miranda⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal Fluminense. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ).

Marcelo Gomes Miguez⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ).

Endereço⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos, 149, CT, Bloco I, sala I 206 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-909 - Brasil - Tel: (21) 3938-7835 - e-mail: lucianafg@poli.ufrj.br

RESUMO

As inundações sempre representaram um grande desafio para as cidades e demandam uma nova abordagem na sua gestão. A consideração da bacia hidrográfica como unidade de trabalho constitui um aspecto fundamental para a escolha de projetos de controle de inundações. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar as consequências de intervenções pontuais em uma bacia urbana e demonstrar que projetos que analisam apenas algumas áreas da bacia podem não ser eficientes na redução dos prejuízos. O estudo de caso foi desenvolvido para a bacia do rio Acari, localizada no Rio de Janeiro (RJ), que sofre com recorrentes eventos de inundação. Os resultados obtidos demonstram que as medidas pontuais propostas são capazes de mitigar os prejuízos nas áreas próximas às intervenções, porém transferem os danos para outras partes da bacia, sendo, portanto, uma solução inadequada.

PALAVRAS-CHAVE: Inundações urbanas, Prejuízos, Intervenções Pontuais, Gestão integrada.

INTRODUÇÃO

Precipitações intensas e enchentes são fenômenos naturais de origem hidrometeorológica; no entanto, o crescimento populacional em direção a áreas sujeitas à inundação, a expansão da fronteira urbana e as mudanças climáticas explicam a dimensão de seus impactos nos sistemas socioeconômicos (TUCCI, 2007; WHITFIELD, 2015). Como os riscos relacionados à água representam 90% de todos os riscos naturais (FIELD *et al.*, 2014), e como este número vem crescendo nos últimos anos, é necessário rever o tratamento dado as águas urbanas.

Durante séculos, projetos em drenagem urbana atuaram de forma isolada na bacia hidrográfica reproduzindo a concepção higienista de afastamento rápido dos efluentes sanitários e pluviais urbanos, tirando as águas indesejadas de um local específico. Concepções mais recentes, preconizadas a partir da década de 1970, buscam consolidar a bacia hidrográfica como unidade de estudo para projetos de controle de inundações, incentivando a introdução de medidas sustentáveis de forma distribuída na bacia, bem como, mais recentemente, evoluindo a discussão para uma abordagem de Gestão do Risco de Inundações (BAPTISTA, NASCIMENTO, 2008; SAYERS *et al.*, 2013, MIGUEZ *et al.*, 2015). Conceitos de "cidades sensíveis à água" e "resilientes" vêm ganhando espaço e englobam concepções mais adaptadas à convivência com a água no meio urbano, aumentando as capacidades de enfrentar, resistir e garantir o reestabelecimento da normalidade o mais rápido possível após eventos extremos (FERGUSON *et al.*, 2012).

A consideração da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e a avaliação do risco de inundações buscam a eficiência na adoção de medidas de controle, garantindo a não transferência do risco para outras regiões da bacia. As medidas a serem adotadas se dividem em estruturais e não estruturais. As primeiras atuam no escoamento em si, e, portanto, estão associadas a intervenções físicas na bacia, como por exemplo, obras de canalização, reservatórios e até mesmo reflorestamento, uma vez que este altera a relação chuva-vazão. Já as

medidas não estruturais apoiam-se em premissas de planejamento e uso do solo, bem como na noção de preservação e de estabelecimento de um convívio mais harmônico com os eventos de inundação (MERZ *et al.*, 2010; MIGUEZ *et al.*, 2015).

O reconhecimento da importância da gestão do risco de cheias, a identificação de áreas susceptíveis a inundações e o emprego da modelagem matemática para simulação de escoamento no meio urbano na ocorrência de eventos extremos são temas de relevância que integram aspectos fundamentais do planejamento urbano para a construção de cidades mais resilientes (MIRANDA, 2016). Grandes obras e intervenções de engenharia que não contemplem uma visão integrada e ecossistêmica são, cada vez mais, alvo de crítica e resistência por não contabilizarem os impactos sociais, econômicos e ambientais de forma explícita.

Dentro desse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar os prejuízos provocados por eventos de inundação na bacia do rio Acari, em dois cenários de modelagem: um diagnóstico da situação atual e outro com medidas estruturais pontuais de controle de inundações. De maneira geral, pretende-se suscitar discussões quanto a garantia dos reais benefícios de obras que não considerem a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Adicionado os custos das obras, os prejuízos na bacia podem ser acentuados ou podem não apresentar melhorias significativas, uma vez que outras regiões ocupadas, fora da zona de abrangência das intervenções, podem passar a ser inundadas.

Para a comparação dos dois cenários, foram determinadas as alturas de lâmina d'água através da modelagem hidrodinâmica da bacia utilizando o Modelo de Células de Escoamento para Bacias Urbanas (MIGUEZ, 2001) e o cálculo dos prejuízos baseou-se em uma metodologia desenvolvida por Nagem (2008).

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Acari está localizada na Área de Planejamento 3 da cidade do Rio de Janeiro e pertence à bacia do Rio Pavuna-Meriti. Possui cerca de 106 km² e 105 mil habitantes (IBGE, 2010), conforme Figura 1.

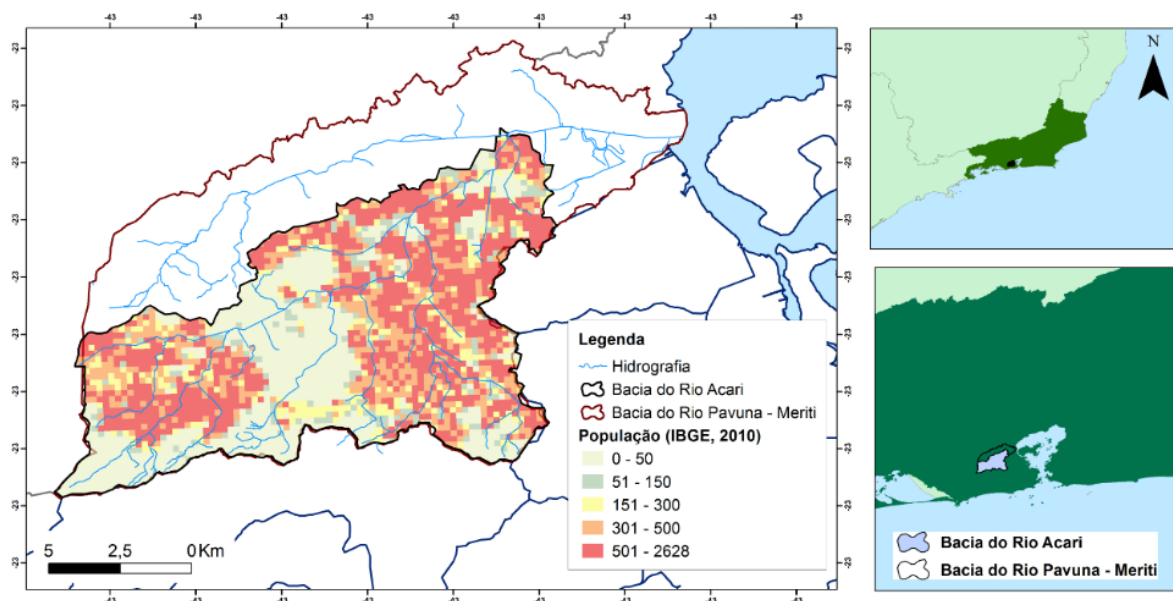


Figura 1: Localização e população na bacia do rio Acari.

Eventos de inundação são frequentes na bacia do rio Acari e estão associados a uma série de prejuízos para seus habitantes, conforme ilustrado na Figura 2. O alto grau de urbanização da bacia, com grandes taxas de impermeabilização do solo, é um fator típico de agravamento das cheias. Parte dessa urbanização carrega ainda o peso de ocupações informais e/ou irregulares. Além disso, há grande produção de sedimentos provenientes de áreas de encosta desmatadas, o que acarreta um assoreamento dos canais principais de macrodrenagem, com

a diminuição de sua capacidade de condução. A coleta de lixo também se mostra deficiente e o rio Acari apresenta acúmulo de resíduos sólidos em vários trechos. Outra condição adversa, refere-se à ocupação de margens, dentro da calha secundária do rio. Por fim, pode-se perceber ainda problemas de capacidade de condução de vazão em pontos de contração a calha, associados, principalmente, a pontes ferroviárias, a pequenas pontes da malha urbana e, em intensidade um pouco menor, a pontes rodoviárias dos grandes eixos, como a Avenida Brasil (BR-101) e a Rodovia Presidente Dutra (BR-116) (COPPETEC, 2006).



Figura 2: Pós inundação na bacia do rio Acari.
Fonte: G1 Rio, 2013.

MODELAGEM

Os modelos matemáticos permitem que fenômenos físicos, como o escoamento de cheias, sejam estudados e compreendidos, permitindo, assim, o desenvolvimento de projetos de engenharia através da possibilidade de predição introduzida pela modelagem.

O diagnóstico dos padrões de escoamento, o reconhecimento de áreas inundadas com seus respectivos tempos de permanência, velocidades, extensão e altura de lâminas d'água, bem como a avaliação do efeito de introdução de intervenções na bacia integram mecanismos fundamentais em ações de planejamento e gestão urbana.

O Modelo de Células de Escoamento para Bacias Urbanas (MODCEL) é uma ferramenta que simula o escoamento superficial durante a ocorrência de eventos chuvosos no espaço urbano, permitindo obter propriedades de eventos de inundação em diferentes regiões da bacia modelada (MIGUEZ, 2001).

Esse modelo considera que a natureza pode ser representada através da divisão da superfície da bacia em compartimentos homogêneos e interligados, denominadas células de escoamento. As células formam uma rede de escoamento bidimensional, a partir de relações hidráulicas unidimensionais com as células vizinhas. Além dessa comunicação hidráulica, cada célula recebe uma contribuição de precipitação e realiza processos hidrológicos em seu interior para transformação de chuva em vazão.

Para simplificar a modelagem, foi definido um padrão de urbanização representativo do comportamento médio das áreas urbanas para a bacia do Rio Acari:

- para alturas de inundação (h) entre 0 e 0,15 m, as águas concentram-se nas ruas; entre 0,15 e 0,50 m, as calçadas ficam submersas e acima de 0,50 m as construções são francamente atingidas.
- padrão de urbanização na qual a área das edificações corresponde a 45% da área total, enquanto as faixas de rolamento de ruas correspondem a 15% e calçadas, parques e jardins, 40%.

Além disso, uma parcela significativa da área das bacias dos rios Acari, Pavuna e São João de Meriti não foi modelada através de células. No entanto, como estas áreas também contribuem para a região modelada, foram representadas como condições de contorno do tipo vazão. Esta estratégia tem como objetivo otimizar os

processos de modelagem e de simulação, priorizando o detalhamento das regiões mais críticas da bacia, onde ocorrem as inundações.

CÁLCULO DE PREJUÍZOS

A avaliação dos prejuízos em termos monetários permite justificar a alocação de recursos públicos para a mitigação do risco de inundações, além de auxiliar a comparação de diferentes projetos de drenagem para a mesma região.

Essa avaliação deveria incluir os danos aos bens com valor de mercado (custos diretos tangíveis), danos à pessoas e ao ambiente, que tem valor intrínseco, mas não tem valor de mercado (custos diretos intangíveis), e custos gerados fora da região de ocorrência do evento, mas impactada por ele (custos indiretos). Os danos diretos intangíveis e os danos indiretos são mais difíceis de serem dimensionados e quantificados e, portanto, usualmente são desconsiderados na avaliação dos prejuízos (BALBI *et al.*, 2014).

Nesse trabalho, os prejuízos econômicos foram calculados utilizando as alturas de inundação obtidas através do MODCEL e uma adaptação e atualização da metodologia desenvolvida por Nagem (2008). A autora considera cinco prejuízos como mais significativos na caracterização dos impactos das cheias no ambiente urbano: custos com doenças de veiculação hídrica, prejuízos a propriedades, limpeza de residências, deseconomias relacionadas ao sistema de transporte e danos materiais aos veículos. De acordo com seus resultados, os danos às propriedades e aos veículos representam aproximadamente 96% do total dos prejuízos e, portanto, o cálculo de prejuízos pode ser simplificado limitando-se a estes.

Os prejuízos às propriedades residenciais foram divididos em prejuízos à edificação, que correspondem aos danos a todos os componentes da construção, e ao conteúdo, que se referem aos bens de consumo localizados no interior das residências, como mobiliários, eletrodomésticos e outros.

O cálculo dos prejuízos à edificação consideram o custo unitário básico (CUB) de construção, o percentual da edificação danificada (PED), a quantidade de domicílios e a área do domicílio conforme os projetos-padrão (ABNT, 2005). Ressalva-se que os cálculos devem considerar a depreciação dos bens, e este desconto é sugerido no valor de 50% dos valores do CUB, como representação média do prejuízo efetivamente ocorrido (SALGADO, 1995). A expressão utilizada para o cálculo dos prejuízos à edificação é apresentada na Equação 1.

$$\text{CRE} = (0,50 \times \text{CUB}) \times \text{PED} \times \text{QD} \times \text{AD} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: CRE = Custo dos danos à edificações residenciais (R\$)

CUB = Custo unitário básico de construção (R\$/m²)

PED = Percentual da edificação danificada

QD = Quantidade de domicílios

AD = Área do domicílio (m²)

Para os prejuízos aos conteúdos, Nagem (2008) realizou um levantamento dos principais itens de consumo quanto a sua disposição e distribuição mais usuais nas residências. Estes itens foram orçados através de pesquisa de mercado em grandes lojas para um imóvel padrão, associado à determinada classe social, e depreciados em 50%. O prejuízo aos demais conteúdos não individualizados no levantamento foi estimado majorando o custo dos conteúdos do imóvel padrão em 15%. O cálculo dos prejuízos aos conteúdos considera o custo dos conteúdos do imóvel padrão por metro quadrado, a quantidade de domicílios, a área do domicílio do domicílio conforme os projetos-padrão (ABNT, 2005) e um fator multiplicador, relacionando a renda média característica de cada classe, utilizado para adequar o custo dos conteúdos às demais classes econômicas, a partir da classe de referência, conforme Equação 2.

$$\text{CRC} = 1,15 \times (0,50 \times \text{CCIP/AIP}) \times \text{Fm} \times \text{QD} \times \text{AD} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: CRC = Custo dos danos aos conteúdos das residências (R\$)

CCIP = Custo dos conteúdos do imóvel padrão (R\$)

AIP = Área do imóvel padrão (m²)
Fm = Fator multiplicador
QD = Quantidade de domicílios
AD = Área do domicílio padrão (m²)

Por fim, o custo de reparo dos danos aos veículos, associado à determinada faixa de inundação, são estimados através de pesquisa de mercado junto a oficinas mecânicas. Quando a altura de inundação atinge 100 cm em um veículo, considerou-se perda total e o valor deste dano refere-se ao valor de um veículo novo depreciado em 50%. Note-se que, tal como nos prejuízos à edificação, a metodologia proposta para cômputo do prejuízo se refere ao valor perdido, não ao seu custo de reposição. Assim, o cálculo dos danos materiais aos veículos considera a quantidade de veículos por domicílio, a quantidade de domicílios e o custo dos danos de acordo com a altura de inundação, conforme Equação 3.

$$CDV = QVD \times QD \times CD \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: CDV = Custo dos danos aos veículos (R\$)
QD = Quantidade de domicílios
CD = Custo dos danos de acordo com a altura de inundação (R\$)

O valor total dos prejuízos corresponde a soma das parcelas de danos às edificações residenciais, danos aos conteúdos das residências e danos aos veículos.

CENÁRIOS DE ANÁLISE

A bacia do Rio Acari é altamente modificada e impermeabilizada, incluindo diversas obras inadequadas que configuram obstáculos aos escoamentos, agravando inundações em diversas regiões da bacia. Dentre essas singularidades, há problemas significativos, já identificados com precisão, podendo ser citadas:

- Galeria subdimensionada sob a travessia do rio Tingui e Linha Férrea Ramal Santa Cruz e Japeri, gerando lâminas de até 2,0 m nas redondezas da Praça Montese e Praça 15 de Novembro;
- Ponte e rede de dutos existentes na rua Luis Coutinho Cavalcanti que atravessam o rio e funcionam como barragem/ reservatório e provocando enchentes de até 1,5 m na região à montante;
- Ponte sob a rodovia Presidente Dutra, exercendo um severo estrangulamento da seção de escoamento e agravando inundações na comunidade Parque Columbia.

As inundações na bacia do Rio Acari são críticas e chegam a níveis realmente dramáticos, tanto em extensão como em lâminas de alagamento. Há áreas com registros de inundação de cerca de 2,0m. Observando os impactos das singularidades citadas nas alturas de inundação, percebe-se que áreas muito críticas se encontram a montante destas. Propõe-se, então, um cenário factível, em que as obstruções listadas são resolvidas localmente, na tentativa de mitigar os prejuízos na bacia do rio Acari. Apesar de serem intervenções locais, os impactos dessas medidas serão observados em outras regiões da bacia e, portanto, demandam uma nova avaliação dos prejuízos considerando seu somatório como parâmetro comparativo em relação à situação de origem. Através da comparação entre esse cenário e a situação original, pode-se verificar se realmente ocorreria a diminuição dos prejuízos na bacia ou se os danos são transferidos para outras regiões.

DISCUSSÃO E RESULTADOS

A modelagem da bacia do rio Acari indicou que as alturas de inundação variam significativamente quando são comparados os cenários sem projeto e com as intervenções propostas. Em apenas 32% da área da bacia ocorreu a diminuição das alturas de inundação, enquanto, em aproximadamente 50% da bacia, ocorreu o aumento das lâminas. Isso sugere que as intervenções propostas, por serem pontuais e não considerarem a bacia de forma integrada, aliviam o local de implantação, mas transferem o problema de inundações para outras regiões. As Figuras 3 e 4 apresentam as manchas de inundação dos cenários sem projeto e com projeto, respectivamente. Observa-se que, em regiões a jusante das intervenções, ocorreu o aumento considerável das lâminas de inundação.

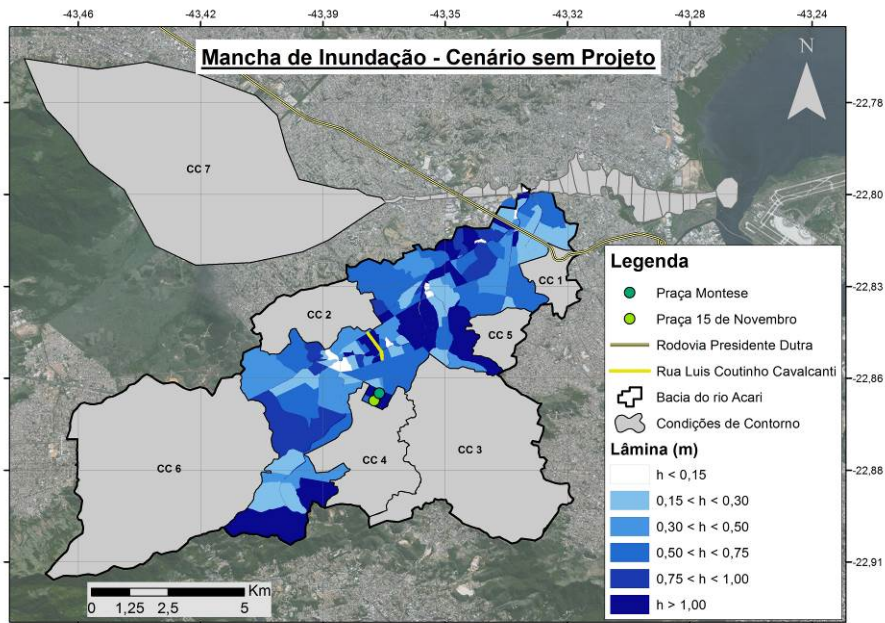


Figura 3: Mancha de inundação para um evento de TR 25 anos no cenário sem projeto.

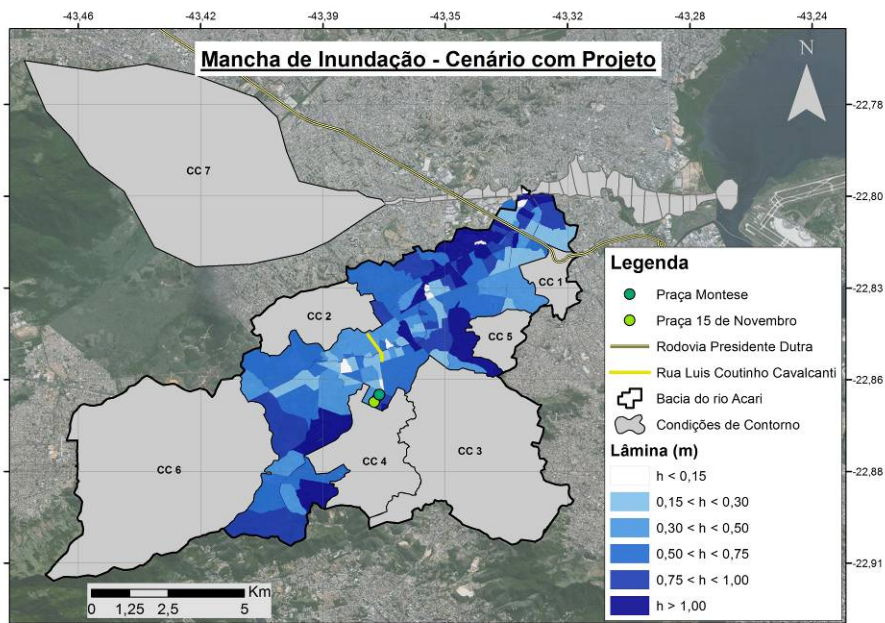


Figura 4: Mancha de inundação para um evento de TR 25 anos no cenário com projeto.

Em termos de prejuízo, ocorreu a redução de cerca de 5% dos danos na região modelada da bacia. Este percentual é baixo quando comparado com o custo de implantação das intervenções propostas. Além disso, em aproximadamente 27% da bacia, ocorreu o aumento dos prejuízos e, em 53%, não houve alteração dos prejuízos. Estes valores corroboram com a proposta de avaliação da bacia de forma integrada.

As Figuras 5 e 6 apresentam os mapas de prejuízo médio por domicílio para um evento com tempo de recorrência de 25 anos nos cenários sem projeto e com projeto, respectivamente. Observa-se que, em regiões a jusante das intervenções, ocorreu o aumento considerável dos prejuízos.

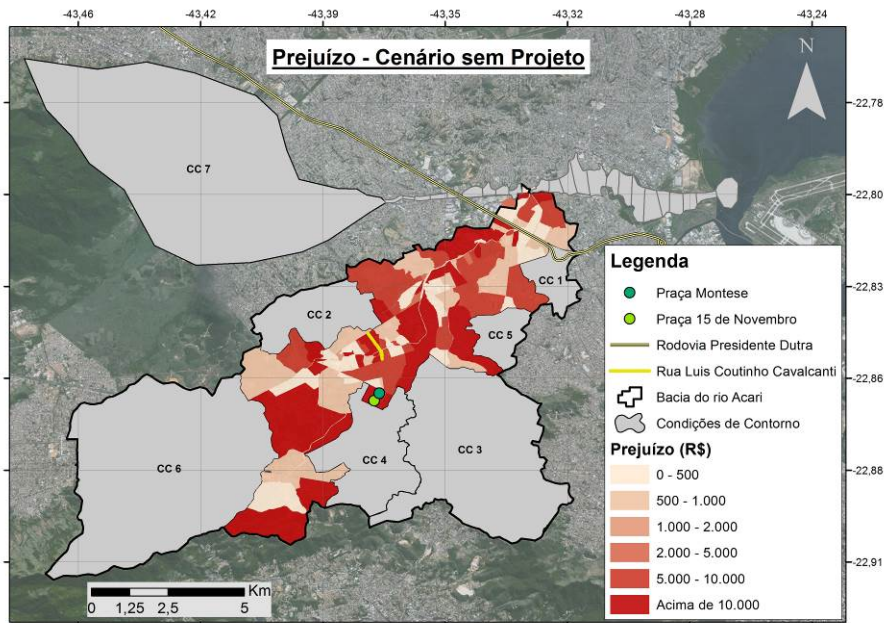


Figura 5: Prejuízo médio por domicílio para um evento de TR 25 anos no cenário sem projeto.

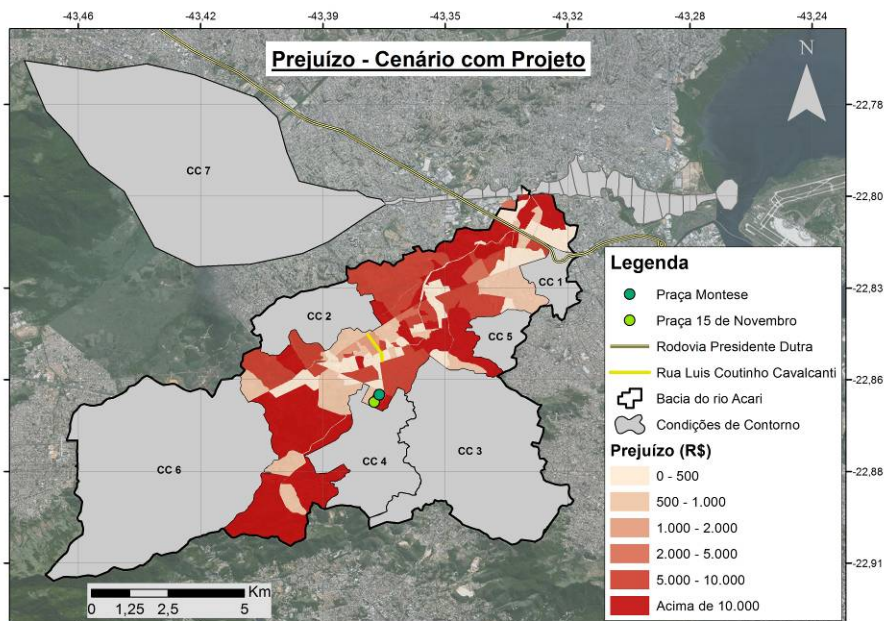


Figura 6: Prejuízo médio por domicílio para um evento de TR 25 anos no cenário com projeto.

CONCLUSÕES

Projetos de controle de inundações devem analisar os impactos que produzem na bacia como um todo, e não apenas no local onde são implantados. Essa análise garante que, após a implantação do projeto, não ocorra a transferência dos prejuízos para outras regiões da bacia.

No caso da bacia do rio Acari, obras pontuais de controle de inundação não garantem um retorno positivo na redução de prejuízos na bacia, uma vez que regiões antes não inundadas (ou menos inundadas) passam a ser (mais) impactadas.

A partir de uma abordagem de Gestão de Risco de Inundações, a avaliação dos prejuízos integra etapa indispensável de avaliação da vulnerabilidade do sistema, auxiliando o processo decisório do melhor arranjo de medidas a serem adotadas no controle de inundações em bacias urbanas.

A solução do problema da bacia do Rio Acari não é simples e demanda uma avaliação sistêmica, tanto da rede de micro e macrodrenagem (incluindo os cursos principais), como ações distribuídas na bacia e uma revisão do próprio processo de urbanização local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Avaliação de custos de construção para Incorporação imobiliária e outras disposições para condomínio edifícios: NBR 12.721, 2005.
2. BALBI, S.; VILLA, F.; MOJTHAED, V., GIUPPONI, C. Estimating the benefits of early warning systems in reducing urban flood risk to people: a spatially explicit Bayesian model. In: 7th International Congress on Environmental Modelling and Software, San Diego, CA, USA, 2014.
3. BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana, ABRH, Porto Alegre, Brasil, 2008.
4. COPPETEC. Estudos integrados para avaliação de projeto de intervenção na calha do rio Acari. Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
5. FERGUSON, B., FRANTZESKAKI, N., SKINNER, R., BROWN, R. Melbourne's transition to water sensitive city: recommendations for strategic action, Monash University, 2012.
6. FIELD, C.B., BARROS, V.R., DOKKEN, D.J., MACH, K.J., MASTRANDREA, M.D., BILIR, T.E., GIRMA, B. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.
7. G1 Rio. Obras contra cheias somam R\$949,1 milhões, mas não impedem enchente. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2013/12/obras-de-controle-de-enchentes-no-rio-nao-impedem-alagamentos.html>>, 2013.
8. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico, 2010.
9. MERZ, B., HALL, J., DISSE, M. & SCHUMANN A. Fluvial flood risk management in a changing world. Natural Hazards and Earth System Sciences, v.10, p.509-527, 2010.
10. MIGUEZ, M.G. Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas. Rio de Janeiro, 2001. Tese de Doutorado – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
11. MIGUEZ, M.G., VERÓL, A.P., DE SOUSA, M.M., REZENDE, O.M. Urban Floods in Lowlands - Levee Systems, Unplanned Urban Growth and River Restoration Alternative: A Case Study in Brazil. Sustainability, v.7, p.11068-11097, 2015.
12. MIRANDA, F.M. Índice de susceptibilidade do meio físico a inundações como ferramenta para o planejamento urbano. Rio de Janeiro, 2016. Dissertação de Mestrado – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
13. NAGEM, F.R.M. Avaliação econômica dos prejuízos causados pelas cheias urbanas. Rio de Janeiro, 2008. Dissertação de Mestrado – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
14. SAYERS, P., YUANYUAN, L., GALLOWAY, G., PENNING-ROSWELL, E., FUXIN, S., KANG, W., YWEL, C., LE QUESNE, T. Flood Risk Management: A strategic Approach. Paris, UNESCO, 2013.
15. TUCCI, C.E.M. Inundações Urbanas, 1ed., ABRH/RHAMA, 2007.
16. WHITFIELD, P.H. Floods in future climates: a review. Journal of Flood Risk Management, n.5, p.336-365, 2012.