

IX-072 - ANÁLISE ECONÔMICA DE PREJUÍZOS POR INUNDAÇÕES A PARTIR DE MODELAGEM HIDRÁULICO-HIDROLÓGICA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA RIBEIRÃO DOS PERUS – SÃO PAULO – SP

Melissa Cristina Pereira Graciosa⁽¹⁾

Professora de Hidráulica e Drenagem na Universidade Federal do ABC, Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, curso de Engenharia Ambiental e Urbana. Mestre e doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

Girleene Xavier Cavalcanti⁽²⁾

Aluna de graduação na Universidade Federal do ABC, Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, curso de Engenharia Ambiental e Urbana.

Endereço⁽¹⁾: Av. dos Estados, 5001, bloco A, Torre 1, Sala 616-1. Bairro Santa Terezinha - Santo André – SP – Brasil – CEP 09210-580 Tel: +55 11 4996-8215 e-mail: melissa.graciosa@ufabc.edu.br

Endereço⁽²⁾: Av. dos Estados, 5001, Bairro Santa Terezinha - Santo André – SP – Brasil – CEP 09210-580 Tel: +55 11 4996-8215 e-mail: g.cavalcanti@aluno.ufabc.edu.br

RESUMO

A expansão da mancha urbana acarreta impactos hidrológicos e hidráulicos nas bacias hidrográficas, seja pela ampliação dos picos e volumes de cheia, em virtude da supressão de parcela significativa da infiltração, bem como pela aceleração dos escoamentos, em virtude da impermeabilização dos talvegues e cursos d'água, seja pela ocupação das áreas de várzea, resultando em significativas reduções na áreas de armazenamento natural dos cursos d'água. Como consequência, passam a ocorrer inundações periódicas na bacia, provocando danos de diversas naturezas. Os sistemas de macrodrenagem urbana tem por objetivo, dentre outros, promover o adequado encaminhamento do escoamento superficial de maneira a diminuir os prejuízos decorrentes, sendo considerada uma componente da saúde ambiental. As bacias da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP O estudo do dano provocado por inundações é peça chave para a valoração dos prejuízos, servindo como subsídio para a alocação de recursos e tomadas de decisão. Este trabalho teve por objetivo avaliar os prejuízos decorrentes dos danos tangíveis diretos provocados por inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Perus, na zona norte da capital paulista. A região, que encontra-se em expansão urbana, já sofre com efeitos das inundações. A partir de modelagem hidráulico-hidrológica e de manchas de inundação, foram aplicadas curvas de prejuízo para a estimativa dos danos às edificações, de acordo com a tipologia de uso e ocupação do solo das áreas afetadas. As simulações revelaram que os prejuízos variam entre R\$ R\$ 1.750.363,47, no cenário atual, para TR-10 anos, a R\$ 28.092.057,06, no cenário futuro, para TR 100 anos. O custo estimado de implantação de um projeto elaborado pela Prefeitura Municipal de São Paulo, em 2011, para o controle das cheias de 100 anos, no cenário futuro, era, à época, de R\$ 90.000.000,00. Em valores atuais e considerando as adequações no projeto atualmente em revisão, estima-se que o investimento seria da ordem de R\$ 150.000,00.

PALAVRAS-CHAVE: Prejuízos por inundações, inundações urbanas, modelagem hidráulico-hidrológica.

INTRODUÇÃO

A ocupação urbana traz muitos impactos físicos como aumento dos picos e volumes de cheia e das velocidades do escoamento dada a redução significativa da infiltração, a retificação e canalização dos cursos d'água, a implantação de vias de fundo de vale e a supressão das planícies naturais de inundação. Nesse contexto se encontra a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) que tem especial relevância no cenário nacional por sua complexidade e impacto na vida de aproximadamente 21,4 milhões de habitantes, segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 2017.

Desde o início do intenso processo de urbanização da RMSP, os cursos d'água metropolitanos sofreram descaracterização hidráulica, bem como as bacias sofreram forte alteração em suas condicionantes hidrológicas. Os processos naturais de escoamento superficial foram fortemente afetados. As vazões de cheia atingem o pico em curtos períodos de tempo, caracterizando a condição de cheias rápidas com pouco tempo de resposta, o que tende a agravar os danos provocados pelas inundações.

Diante disso, a drenagem urbana se tornou muito importante em grandes aglomerados urbanos como uma medida de saúde ambiental e sendo considerada então uma das interfaces do saneamento. Segundo Tucci et al (2001), o termo drenagem urbana é entendido como o conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.

Os danos por inundações são usualmente classificados em tangíveis, quando passíveis de quantificação monetária, subdividindo-se em diretos – resultantes do contato direto das águas de enchente com os bens, como, por exemplo, danos às edificações e veículos, ou indiretos – quando decorrentes dos processos de inundação como, por exemplo, interrupção de tráfego e serviços, doenças de veiculação hídrica pelo contato com as águas de chuva, ou danos intangíveis, quando não são passíveis de quantificação monetária ou quando esta for muito complexa e de difícil definição, como por exemplo, os danos ao patrimônio histórico, cultural, ao meio ambiente e à vida humana.

Existem diversas medidas de controle de inundações e para isso é necessário compreender os aspectos técnicos, econômicos, institucionais e ambientais envolvidos (CANHOLI, 2012). No aspecto econômico, o estudo do dano provocado por inundações é peça chave para a valoração dos prejuízos, servindo então como subsídio para o planejamento da alocação de recursos do órgão responsável pela gestão da macrodrenagem e sendo também um grande desafio para os tomadores de decisão.

O presente trabalho apresenta a aplicação de uma metodologia de quantificação de danos tangíveis diretos baseada na modelagem hidráulico-hidrológica e de manchas de inundação. O estudo de caso apresentado é a bacia do Ribeirão dos Perus, na região norte do município de São Paulo – SP. Com 28 km², esta bacia abrange um importante distrito do município de São Paulo localizado na bacia do médio Juqueri, afluente direito do Rio Tietê. A bacia do Ribeirão dos Perus encontra-se em área de expansão urbana, sendo que as cabeceiras abrangem vastas áreas verdes ainda não urbanizadas mas que já sofrem pressão por urbanização; a porção média é caracterizada por chácaras e áreas industriais e a porção baixa da bacia abrange o centro do distrito de Perus, com urbanização bastante adensada e que já sofre com problemas de inundações. Avalia-se o benefício econômico de um projeto previsto para a região, onde se propõe implantar um parque linear, restabelecer e proteger as áreas de várzea, despoluir o curso d'água e implementar bacias de retenção para o amortecimento das cheias.

OBJETIVOS

O presente trabalho teve por objetivo central avaliar o dano por inundações, a partir de curvas de prejuízo e mapas de inundação elaborados com base em modelagem hidráulico-hidrológica de cheias de probabilidade conhecida, na bacia hidrográfica Ribeirão dos Perus, Região Metropolitana de São Paulo. Como objetivos específicos, avaliou-se:

- 1) Os danos tangíveis diretos por período de retorno, a partir das manchas de inundação e de curvas de danos, considerando as categorias de uso e ocupação do solo predominantes nas áreas atingidas;
- 2) A comparação custo-benefício de um projeto de intervenções na macrodrenagem previsto para o controle das inundações na bacia.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo – bacia hidrográfica do Ribeirão dos Perus – São Paulo – SP – Brasil

A bacia hidrográfica do Ribeirão dos Perus está inserida na porção norte do município de São Paulo, abrangendo região do Distrito de Perus. Drena uma área de aproximadamente 28,0 km² pertencente à bacia do Rio Juqueri, nele desaguardando em sua margem esquerda, na divisa entre os municípios de São Paulo e Caieiras. Pertence, portanto, à bacia Hidrográfica do Alto Tietê, contribuindo para a sua margem direita, próximo ao limite jusante da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP. Uma característica marcante da bacia do Ribeirão dos Perus, em contraste com outras sub-bacias do Alto Tietê, é o fato de o processo de urbanização ainda não estar totalmente consolidado, havendo áreas não ocupadas e trechos de várzea preservados. Muito embora o estágio atual de urbanização já resulte em processos bastante críticos de inundação, especialmente na área de baixada da bacia, as suas porções média e superior apresentam possibilidades relevantes de preservação da várzea e áreas de amortecimento naturais. Do ponto de vista hidráulico, os cursos d'água

principais apresentam pontos de erosão e assoreamento, resultantes dos processos de ocupação urbana das áreas contribuintes. A relevância de tomar esta bacia por objeto de estudo, do ponto de vista dos impactos econômicos das cheias na região metropolitana de São Paulo, está relacionada, notadamente, ao estágio de ocupação da bacia e das possibilidades que a mesma apresenta em termos de planejamento da ocupação futura a fim de prevenir o agravamento dos problemas relacionados às enchentes, bem como tratar os déficits hidráulicos já existentes na bacia.

Processo metodológico

A primeira etapa do trabalho consistiu da elaboração de base cartográfica georreferenciada com as informações básicas necessárias para a modelagem, incluindo hidrografia, curvas de nível, sistema viário, uso do solo e ortofoto. obtenção das vazões de projeto, com base em modelagem hidráulico-hidrológica para cheias de projeto de tempos de recorrência 10, 25 e 100 anos. Os parâmetros físicos das sub-bacias foram obtidos com base nas informações da base cartográfica e do cadastro dos cursos d'água. A metodologia está descrita no quadro metodológico mostrado na Figura 1.

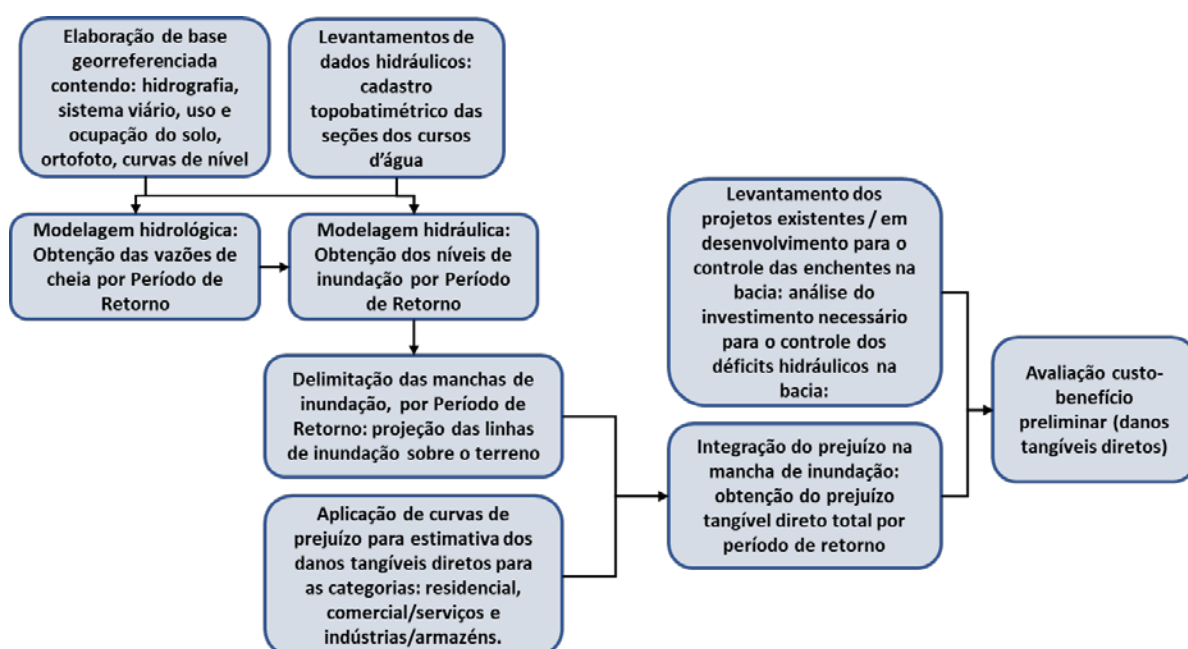


Figura 1: Quadro metodológico.

Elaboração de base de dados georreferenciada da bacia hidrográfica de estudo

A base cartográfica georreferenciada foi elaborada em escala 1:10.000 no *software* QGIS, a partir de dados disponibilizados na plataforma GeoSampa, da Prefeitura Municipal de São Paulo, abrangendo: hidrografia, altimetria com curvas de nível de 1 em 1 metro, sistema viário e ortofoto. A batimetria com as seções e perfil longitudinal dos cursos d'água foram obtidos a partir de cadastro disponibilizado pela Prefeitura.

Cenários simulados

A modelagem hidrológico-hidráulica para obtenção das vazões e níveis de cheia na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Perus foi realizada para chuvas de projeto de Tempos de Recorrência TR-10, 25 e 100 anos, nos cenários atual e futuro.

Modelagem hidrológica

Foi utilizado o modelo SCS – Soil Conservation Service (*Natural Resources Conservation Service*, 1986), com propagação da onda de cheia pelo método de Muskingum. A aplicação do modelo SCS contempla as etapas de obtenção da precipitação efetiva e transformação chuva-vazão. A precipitação efetiva ou chuva excedente é resultado da precipitação total menos a parcela da chuva retida ou infiltrada na bacia, resultando na parcela da precipitação que se converte em escoamento superficial. Sua estimativa, no método SCS, é feita por meio do parâmetro “*curve number*” – CN, que varia de 0 a 100 e é tanto maior quanto menor a capacidade

de infiltração do solo. Os parâmetros físicos e hidrológicos da bacia foram obtidos a partir de base de dados georreferenciada. O traçado das sub-bacias foi delimitado a partir de nós de simulação definidos em pontos notórios da bacia, a saber: exutório da bacia principal e dos afluentes; travessias dos cursos d'água sob o sistema viário; singularidades na rede de drenagem.

As simulações foram realizadas com o uso do *software* HEC-HMS, da plataforma HEC (*Hydrologic Engineering Center*). O módulo HEC-HMS calcula a precipitação excedente e simula o processo chuva-vazão em sistemas de bacias e sub-bacias hidrográficas, dados a chuva de projeto, os parâmetros físicos da bacia e os parâmetros do modelo de simulação hidrológica selecionado.

Para a modelagem e simulação hidrológica, a bacia hidrográfica do Ribeirão dos Perus foi dividida em sub-bacias a partir dos nós (pontos) de interesse para a obtenção das vazões de projeto, quais sejam: exutório da bacia e dos córregos contribuintes; travessias sob o sistema viário principal e secundário e travessias restritivas ao escoamento; a jusante e a montante das confluências; nas singularidades que caracterizam alteração de tipologia do canal (geometria, revestimento, declividade), nos pontos de característica alteração do uso e ocupação do solo da bacia contribuinte. Foram, então, traçadas as sub-bacias de contribuição. Foram adotados trechos de amortecimento em canal entre os nós de simulação no curso d'água principal e afluentes de 1ª ordem. Os parâmetros de simulação foram estimados conforme **Quadro 1**.

Quadro 1 – Parâmetros de simulação e metodologia de obtenção

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Forma de obtenção / Fonte da informação
Área das sub-bacias	A	km ²	Base cartográfica georreferenciada.
Tempo de concentração	tc	minutos	Método cinemático
Curva Number	CN	adimensional	Tabelas de referência (FCTH 2013). Tipo de solo B e condição anterior de umidade II.
Amortecimento nos trechos	K	minutos	Método de Muskingum, considerando velocidade média de escoamento para escoamento permanente uniforme
	X	minutos	Método de Muskingum, adotado X = 0.2 (médio amortecimento)

Modelagem hidráulica

Para a modelagem hidráulica foi escolhido o modelo de remanso hidráulico para a determinação dos níveis de inundação. Este modelo é baseado nos princípios da conservação de energia (equação de Bernoulli) e conservação da massa (equação de continuidade) e pode ser aplicado quando for admitida a hipótese de regime de escoamento permanente uniforme, podendo ser estendida para o regime permanente gradualmente variado. Os parâmetros hidráulicos dos cursos d'água foram obtidos a partir do cadastro topobatimétrico. As simulações hidráulicas dos cenários avaliados foram realizadas com o *software* HEC-RAS – River Analysis System, *software* de simulação hidráulica pertencente à plataforma HEC (*Hydrologic Engineering Center*).

As simulações hidráulicas foram realizadas no trecho a jusante do Rodoanel, a partir de onde se identificam déficits hidráulicos para as cheias de projeto. Para a modelagem e simulação hidráulica, foram considerados o curso d'água principal, Ribeirão dos Perus e seu principal afluente, no trecho simulado, o córrego do Areião. Foram adotadas seções de simulação conforme os critérios: trechos de geometria, declividade e revestimento homogêneos; singularidades restritivas ao escoamento; jusante e montante dos cursos d'água simulados. Os parâmetros *n* de Manning para o modelo de remanso foram obtidos a partir da bibliografia de referência (Canholi, 2012), considerando as tipologias de revestimento do canal.

Elaboração das Manchas de inundação

Para a elaboração das manchas de inundação, os níveis de inundação simulados foram projetados no terreno, na plataforma QGIS, para cada cenário avaliado. Foram sobrepostos os dados de uso e ocupação do solo para avaliação dos níveis de inundação nas edificações, de modo a obter-se, em ambiente SIG, as manchas de inundação correspondentes.

Análise dos prejuízos para danos tangíveis diretos

Para a integralização dos prejuízos por inundações na bacia foi aplicado o método da curva nível x prejuízo, contemplando os danos tangíveis diretos relacionados às categorias de uso e ocupação do solo predominantes nas áreas de inundação da bacia estudada, notadamente: residencial (baixo e médio padrão), comercial / serviços e industrial / armazéns.

Prejuízo a edificações residenciais: aplicou-se o método proposto por Tachini (2010) que considera o enquadramento de edificações de acordo com a NBR 12721:2006 relacionando-o com as classes socioeconômicas definidas pela ABEP (2018), conforme apresentado na **Tabela 1**. Tachini (2010) propôs, para considerar a depreciação do imóvel, o valor de 5% do Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB), que é uma medida estimada do custo por metro quadrado de uma construção civil. Os valores de CUB para março/2019 estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 1 – Enquadramento de tipologia de residências adotados. Fonte: Adaptado de Tachini (2010) e ABNT (2006)

Classe ABEP (2018)	Tipo de Residência (projeto-padrão)	Código (NBR 12721/06)	Características principais
A1, A2	Padrão Alto	R1 - A	Residência composta de 4 dormitórios (2 suítes e 1 closet); banheiro social; sala de estar, de jantar e íntima; circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda (abrigo para automóvel).
B1, B2	Padrão Normal	R1 - N	Residência composta de 3 dormitórios (1 suíte); banheiro social; sala; circulação; cozinha; área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel).
C1, C2, D	Padrão Baixo	R1 - B	Residência composta de 2 dormitórios; sala; banheiro; cozinha; área para tanque.
E	Popular	RP1Q	Residência composta de 1 dormitório, sala, banheiro e cozinha

Tabela 2. Custo Unitário Básico por classe socioeconômica e tipo de residência padrão. Fonte: Adaptado de SindusConSP (2019)

Classe ABEP (2018)	Código (NBR 12721/06)	Custo (R\$/m²)
A1, A2	R1 - A	2.023,18
B1, B2	R1 - N	1.689,27
C1, C2, D	R1 - B	1.362,86
E	RP1Q	1.499,97

Com os valores dos níveis de submersão obtidos a partir da modelagem hidráulica, considerou-se a porcentagem da edificação danificada (Ped) em função destes níveis e as classes socioeconômicas, conforme **Tabela 3**. O cálculo utilizado para quantificar os prejuízos a edificações de um pavimento é expresso pela Equação 1 (Tachini, 2010).

Tabela 3 – Porcentagem da edificação danificada (Ped). Fonte: Adaptado de Tachini (2010)

Classe ABEP (2018)	Profundidade de submersão (m)						
	0,50 a 0,75	0,75 a 1,00	1,00 a 1,50	1,50 a 2,00	2,00 a 2,50	2,50 a 3,00	> 4,00 *
A1, A2	9,5%	16,4%	17,0%	19,6%	21,0%	21,6%	28%
B1, B2	5,6%	13,0%	13,7%	16,7%	18,3%	19,8%	26%
C1, C2, D	4,2%	13,3%	13,7%	16,4%	17,3%	18,5%	24%
E	4,0%	14,2%	14,7%	17,4%	18,3%	19,7%	26%

$$DE = 0,05 \times CUB \times Ped \times Ac$$

(Equação 1)

Em que: DE é o dano residencial à edificação (R\$), CUB = Custo Unitário de Construção Civil (R\$/m²), Ped = porcentagem da edificação danificada e Ac = área atendida (m²).

Prejuízos às edificações comerciais e de serviços: aplicou-se as curvas de dano propostas por Milograna (2009), atualizadas para 2019 por meio do Índice de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA. Foram adotadas as curvas expressas pelas Equações 2 e 3.

$$DC_1 = 305,919 + 247,611 \times \ln(h) \quad (\text{Equação 2})$$

$$DC_2 = 62,979 + 66,845 \times \ln(h) \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: DC_1 é o dano às áreas comerciais (R\$) DC_2 é o dano causado às áreas de serviços (R\$) e h é a profundidade de submersão (m).

Prejuízos a áreas industriais: Para o cálculo de prejuízos a áreas industriais, Canholi (2013) propôs diferentes valores de prejuízo por metro quadrado em função da profundidade de submersão. Para o presente trabalho, adotou-se os valores de prejuízo para as áreas industriais e de armazéns conforme **Tabela 4** e **Equação 4**. Os valores foram atualizados para março/2019 com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) acumulado.

Tabela 4. Prejuízos a indústrias/galpões industriais em função da profundidade de submersão. Fonte: Adaptado de Canholi (2013)

Valor Prejuízo – Vp (R\$/m²)			Indústrias/Galpões Industriais
Profundidade (m²)			
0,25	0,26 a 0,50	0,51 a 1,00	
66,49	195,41	220,19	

$$DI = Vp \times Ac \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: DI é o dano às áreas industriais (R\$), Vp é o valor do prejuízo por m² (R\$/m²) e Ac é a área construída inundada (m²).

O Projeto para controle das inundações na bacia do Ribeirão dos Perus

Elaborado pela Prefeitura Municipal de São Paulo, em 2011 e, atualmente, em revisão, o projeto para o controle das inundações na bacia do Ribeirão dos Perus contempla um parque linear e áreas de reservação natural que totalizam 590.000 m³ distribuídos em cinco bacias de detenção / retenção, com sistema de operação online, com operação por gravidade. Estão previstas três bacias de retenção (com lâmina d'água permanente) no Ribeirão dos Perus, a montante do Rodoanel, totalizando 550.000 m³ de reservação e duas bacias de detenção (secas) no córrego Areião, totalizando 40.000 m³ de volume. O projeto prevê ainda a adequação da calha, nos trechos em que apresenta singularidades restritivas ao escoamento, erosão ou assoreamento. Em especial, duas travessias, na região central, que impõem severas restrições ao escoamento na altura da Praça Inácio Dias, deverão ser readequadas. O sistema completo é integrado por meio de um parque linear com 2 km de extensão que prevê a implantação de equipamentos urbanísticos tais como ciclovia, equipamentos de lazer adulto e infantil e lago com lâmina permanente. O dimensionamento hidráulico do sistema contempla o cenário futuro de ocupação da bacia para o tempo de recorrência de 100 anos. O investimento total previsto no projeto, em valores da época da elaboração do projeto (2011) era de 90 milhões de reais. A planta geral de localização das intervenções está apresentada na **Figura 2**.

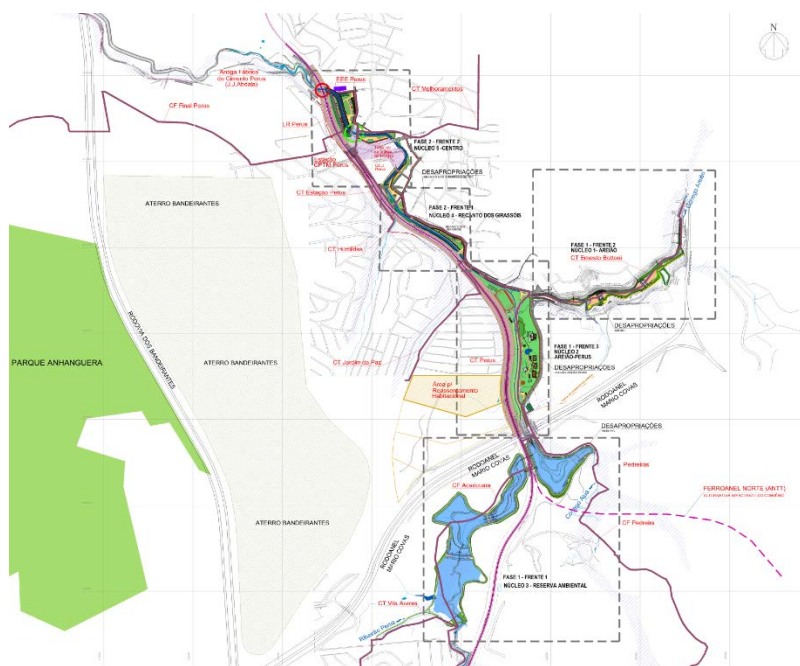


Figura 2: Apresentação geral do projeto para o controle das inundações para a bacia do Ribeirão dos Perus.
Fonte: Prefeitura Municipal de São Paulo, 2011.

RESULTADOS

Modelagem hidrológica

Como resultado da sub-divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias, conforme os critérios adotados, obteve-se 64 nós de simulação e 48 sub-bacias, como demonstra a **Figura 3**. A **Tabela 5** apresenta as vazões máximas simuladas nos principais nós de simulação, para os cenários avaliados.

Tabela 5 – Vazões simuladas nos nós principais da bacia (m³/s) para os cenários atual e futuro e tempos de recorrência TRs 10, 25 e 100 anos

NÓ HEC HMS	DESCRIÇÃO	ÁREA DREN. (km²)	CENÁRIO ATUAL			CENÁRIO FUTURO		
			TR-10	TR-25	TR-100	TR-10	TR-25	TR-100
27	Foz do Córrego Ajuá no Ribeirão dos Perus	11.61	50.2	68.7	98.7	72.7	95.9	132.7
28	Ribeirão dos Perus jusante confl. Corr. Ajuá	16.79	77.1	105.1	150.2	120.3	156.6	213.3
29	Ribeirão dos Perus, travessia sob o Rodoanel	17.54	79.3	108.3	155.2	126.5	164.6	223.9
43	Foz do Córrego do Areião no Ribeirão dos Perus	3.84	13.6	19.9	30.5	30.8	40.8	56.5
44	Ribeirão dos Perus jusante confl. Corr. Areião	22.12	94.1	128.4	184.3	159.2	207.7	283.2
52	Ribeirão dos Perus, Pça Inácio Dias / CEU Perus	24.14	100.6	137.2	197.6	171.2	222.2	301.2
58	Foz do Ribeirão dos Perus no Rio Juqueri	27.07	108.4	147.1	209.3	176.6	228.3	308.4

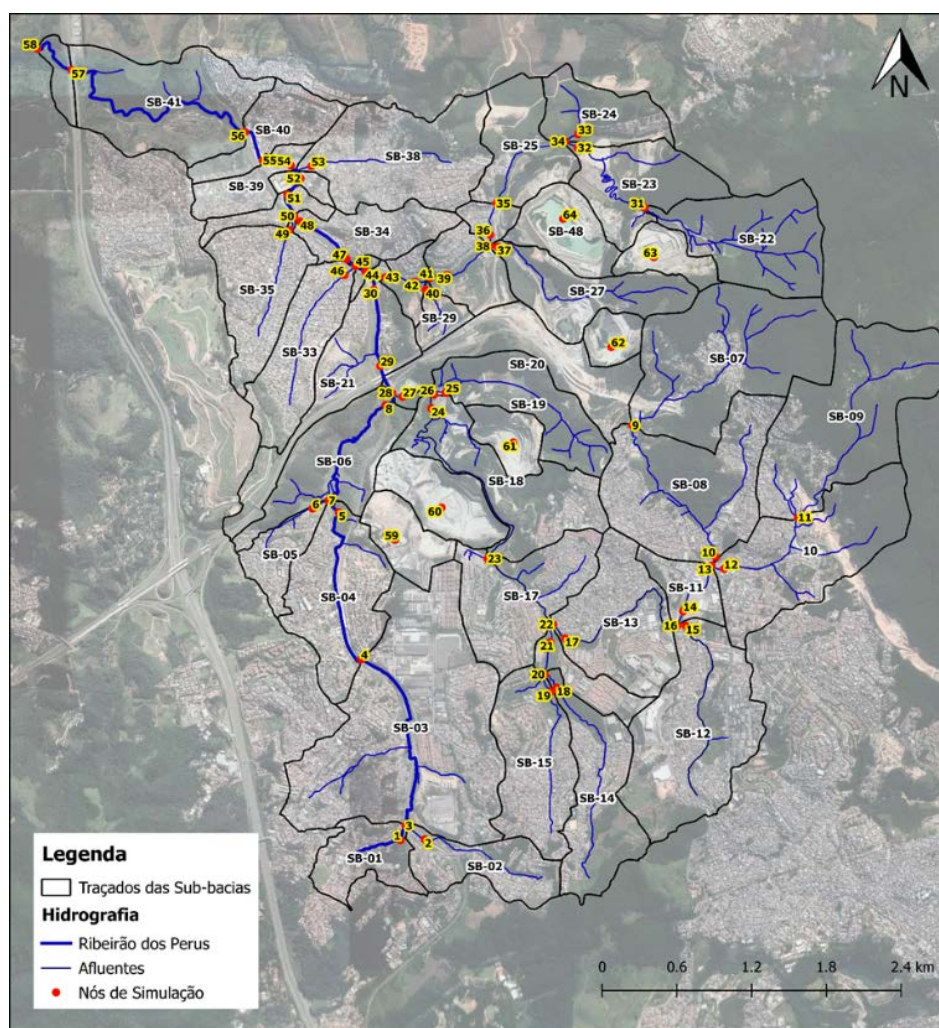


Figura 3: Topologia da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Perus para simulação hidrológica.

Modelagem hidráulica

Foram obtidas 30 seções para a simulação hidráulica, conforme os critérios adotados. A Tabela 6 apresenta os parâmetros hidráulicos para as seções principais de simulação. As Figuras 4 e 5 apresentam os perfis d'água simulados.

Tabela 6 – Parâmetros Hidráulicos das seções

Seção HEC- RAS	Descrição	Distância Acumulada (m)	n Manning	nó HEC HMS	Cota Margem Esquerda	Cota Margem Direita	CENÁRIO ATUAL			CENÁRIO FUTURO		
							NA TR10 (m)	NA TR25 (m)	NA TR100 (m)	NA TR10 (m)	NA TR25 (m)	NA TR100 (m)
19	Travessia do Ribeirão dos Perus sob o Rodoanel	2568.20	0.020	29	743.76	743.88	743.64	744.30	745.42	744.86	745.82	747.23
11	Céu Perus	684.80	0.020	52	738.33	738.32	737.42	738.13	739.15	738.71	739.52	740.67
7	Praça Inácio Dias	310.60	0.020	55	737.27	737.00	735.72	736.30	737.17	736.82	737.52	738.51
1	Trav. Rib. Perus sob a linha Férrea, centro de Perus	0.00	0.020	56	732.96	732.96	732.26	732.78	733.52	733.22	733.83	734.69
27	Rua Ernesto Botoni	1084.01	0.025	38	753.09	752.81	747.68	747.92	748.27	748.27	748.52	748.86
23	Trav. Sob R. Ana Maria Franco Laranjeira	125.21	0.025	42	745.24	743.73	742.86	743.69	744.93	744.38	745.41	746.87
20	Foz do Córrego Areião no Ribeirão dos Perus	0.00	0.025	43	740.89	740.90	742.80	743.61	744.82	744.23	745.22	746.63



As manchas de inundação foram elaboradas a partir da projeção, no terreno, dos níveis de transbordamento dos cursos d'água, nas seções simuladas. As manchas resultantes, para cada cenário, estão apresentadas na **Figura 6**, a seguir.

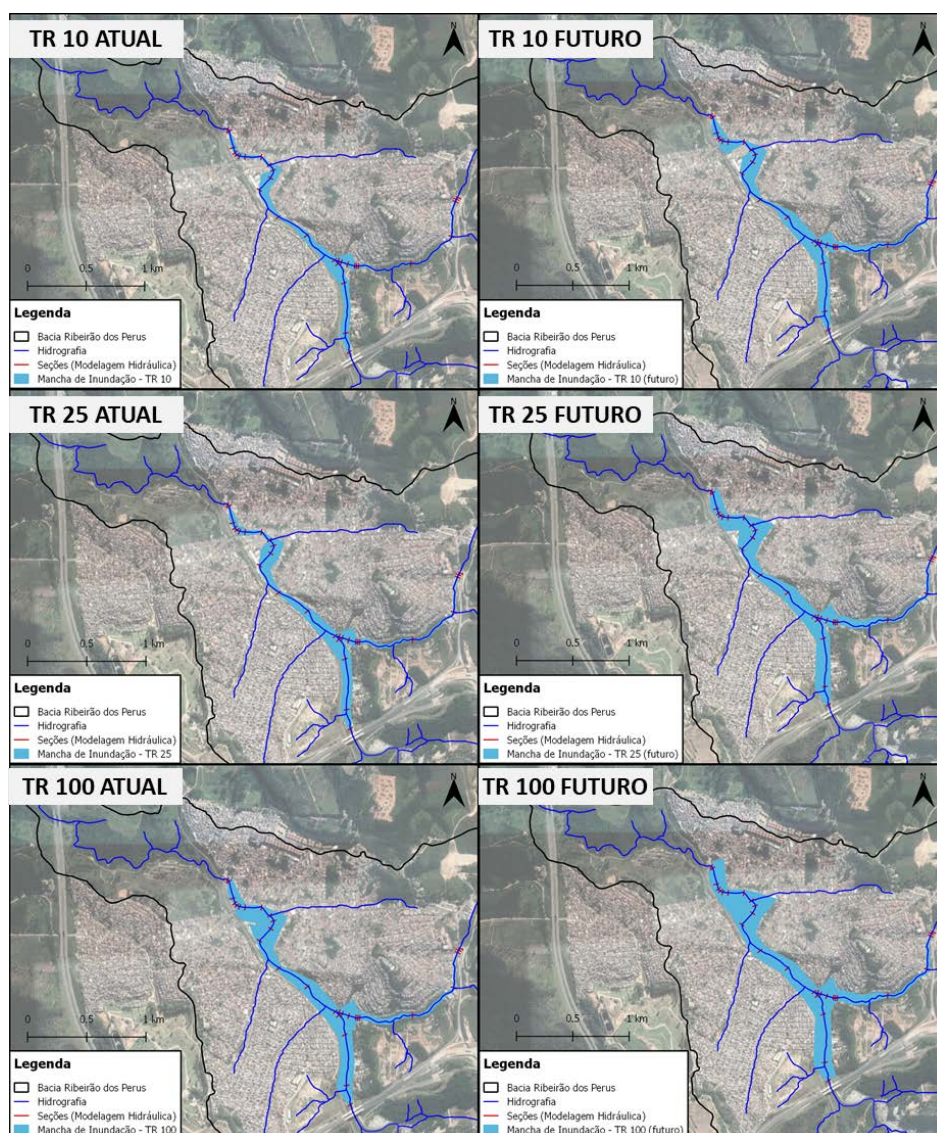


Figura 6: Manchas de inundação simuladas para os cenários TR 10, 25 e 100 anos, ATUAL e FUTURO.

Cálculo dos prejuízos para danos tangíveis diretos

Os prejuízos foram computados em função da área atingida e profundidade de submersão, conforme metodologia descrita. Os resultados estão apresentados na **Tabela 7**, resumidos por tipologia.

Tabela 7 – Prejuízos decorrentes dos danos tangíveis diretos

Uso e Ocupação	TR 10 anos - Cenário Atual		TR 25 anos - Cenário Atual		TR 100 anos - Cenário Atual		TR 10 anos - Cenário Futuro		TR 25 anos - Cenário Futuro		TR 100 anos - Cenário Futuro	
	Área edif. Atingida [m²]	Prejuízo Total [R\$]	Área edif. Atingida [m²]	Prejuízo Total [R\$]	Área edif. Atingida [m²]	Prejuízo Total [R\$]	Área edif. Atingida [m²]	Prejuízo Total [R\$]	Área edif. Atingida [m²]	Prejuízo Total [R\$]	Área edif. Atingida [m²]	Prejuízo Total [R\$]
Prejuízo parcial - Resid. Horiz. Baixo Padrão	15,138.74	R\$ 111,538.44	23,305.82	R\$ 247,187.82	39,840.73	R\$ 518,442.68	33,141.12	R\$ 386,125.42	52,304.30	R\$ 742,490.06	69,539.27	R\$ 1,032,417.93
Prejuízo parcial - Resid. Horiz. Médio Padrão	18,508.40	R\$ -	23,997.83	R\$ 269,583.14	42,783.25	R\$ 580,033.10	32,045.30	R\$ 370,812.20	41,237.68	R\$ 526,266.03	58,286.38	R\$ 696,580.10
Prejuízo parcial - Comércio / Serviços	5,292.17	R\$ 410,043.59	7,550.30	R\$ 3,895,005.14	21,616.86	R\$ 10,565,199.70	20,409.79	R\$ 13,889,683.45	17,587.59	R\$ 15,012,415.59	20,804.80	R\$ 21,104,966.41
Prejuízo Parcial - Armazéns / Indústrias	6,083.31	R\$ 1,228,781.43	15,470.69	R\$ 2,065,584.22	11,452.91	R\$ 2,238,781.55	4,613.52	R\$ 954,176.03	18,720.09	R\$ 2,852,958.07	35,393.73	R\$ 5,258,092.61
TOTAL	45,022.63	R\$ 1,750,363.47	70,324.65	R\$ 6,477,360.32	115,693.74	R\$ 13,902,457.03	90,209.73	R\$ 15,600,797.09	129,849.65	R\$ 19,134,129.75	184,024.18	R\$ 28,092,057.06

Obs. Valor de prejuízo para TR 10, cenário atual, edificações residenciais de médio padrão não computado em virtude da profundidade de submersão inferior ao mínimo aplicável ao método.

ANÁLISE E CONCLUSÕES

Os resultados apontam que os prejuízos decorrentes das inundações na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Perus, causados exclusivamente por danos tangíveis diretos às edificações, variam de R\$ 1.750.363,47, no cenário atual, para TR-10 anos, a R\$ 28.092.057,06, no cenário futuro, para TR 100 anos. O custo estimado de implantação de um projeto elaborado pela Prefeitura Municipal de São Paulo, em 2011, para o controle das cheias de 100 anos, no cenário futuro, era, à época, de R\$ 90.000.000,00. Em valores atuais e considerando as adequações no projeto atualmente em revisão, estima-se que o investimento seria da ordem de R\$ 150.000,00. Há outros prejuízos decorrentes das cheias, não contabilizados no presente estudo, que ampliam sobremaneira os valores calculados. Eles referem-se aos danos tangíveis indiretos, como, por exemplo, custo do sistema de transporte parado. A região de Perus tem aproximadamente 80.000 habitantes sendo que parte da população economicamente ativa se desloca para as regiões centrais da cidade, a trabalho, utilizando a única linha de trem que liga o centro à região. Nas cheias de maior porte, a estação Perus da CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos) e a linha férrea ficam intransitáveis, gerando prejuízos econômicos para a capital paulista e região metropolitana. Há ainda os danos aos veículos e aos bens móveis, não contabilizados no presente estudo. E, o mais grave, os danos à vida humana e ao meio ambiente, considerados intangíveis dada a impossibilidade de expressá-los precisamente em termos monetários.

O projeto prevê a implantação de um parque linear, que viria a ser uma das únicas opções de lazer para a população local, além de possibilitar a preservação das áreas de várzea, especialmente a montante do Rodoanel. O risco de ocupação dessas áreas, dada a pressão imobiliária presente em toda a Região Metropolitana de São Paulo, além do risco de ocupação irregular, dado o déficit habitacional e a busca por locais de moradia, deve ser levado em conta. Caso as áreas de várzea na cabeceira da bacia venham a ser ocupadas de maneira não planejada, a ocorrência de enchentes na região será agravada, ampliando também os danos tangíveis e intangíveis. A proteção dessas várzeas traz benefícios adicionais ao controle dos volumes de cheia que, somados aos danos evitados, justificam de maneira inequívoca o investimento no sistema de proteção previsto.

É recomendado que os danos e prejuízos sejam avaliados também em sua dimensão intangível e tangível indireta, a fim de se possibilitar uma análise de custo benefício mais acurada. Da mesma forma, um estudo probabilístico da ocorrência de grandes cheias, no horizonte de planejamento do projeto estudado, traria luz à avaliação de custo-benefício das intervenções planejadas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Programa de Iniciação Científica da UFABC (PIC/UFABC).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABEP – Associação Brasileira de Empresas e Pesquisa. Critério Brasil. 2018. Disponível em: <<http://www.abep.org/criterio-brasil>>. Acesso em 12 abr. 2019.
2. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12721: Critérios para avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
3. CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
4. GRACIOSA, Melissa Cristina Pereira. Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações. Tese (Doutorado) – Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
5. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Série histórica - IPCA/IPCC. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos.html>>. Acesso em 12 abr. 2019.
6. MILOGRANA, Jussanã. Sistemática de auxílio à decisão para seleção de alternativas de controle de inundações urbanas. 2009. 342 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
7. NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE, CONSERVATION ENGINEERING DIVISION (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55.

8. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2011. Projeto executivo do Parque Linear Perus. Elaborado pela Fundação para a Pesquisa Ambiental – FUPAM.
9. SINDUSCONSP - Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo. Boletim Econômico - Março de 2017. 2017. Disponível em: < <https://sindusconsp.com.br/wp-content/uploads/2019/04/03-Mar%C3%A7o-2019.pdf>>. Acesso em 12 abr. 2019.
10. TACHINI, M. Avaliação de danos associados às inundações no município de Blumenau. 2010. 167 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental)
11. TUCCI, Carlos E.M. Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco 2005.
12. TUCCI, Carlos E. M. et al. Hidrologia: ciência e aplicação / organizado por Carlos E. M. Tucci - 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.