

## EIXO 2: INTERVENÇÃO EM ZONAS MARGINAIS (SOCIO-ECONÔMICA)

As intervenções sobre as zonas marginais de canais fluviais devem estar correspondentemente associadas às ações minimamente necessárias para mitigar e/ou compensar as consequências socioeconômicas das inundações urbanas.

Neste contexto, Zonensein et al., (2008) propuseram o índice que pondera as consequências de inundações urbanas, a partir da composição de quatro critério: densidade de domicílios afetados ( $I_{DD}$ ), acessibilidade e mobilidade ( $I_{AM}$ ), saneamento inadequado ( $I_{SI}$ ) e da renda familiar ( $I_{RF}$ ) expresso por:

$$IPI_{(SE)} = I_{DD}w_{DD} + I_{AM}w_{AM} + I_{SI}w_{SI} + I_{RF}w_{RF} \quad (1)$$




Onde a importância de cada um dos componentes se refere aos termos  $w_{DD}$ ,  $w_{AM}$ ,  $w_{SI}$  e  $w_{RF}$ . Em geral, a prioridade de intervenção em zonas marginais enfatiza a capacidade de resposta gerencial que possa auxiliar a mitigação ou compensação dos impactos socioeconômicos das inundações urbanas sobre os bens imóveis, infraestruturas viárias e populações que habitam as proximidades das linhas de água, expostas aos riscos de doenças de veiculação hídrica e relacionados a água. Assim, propõem um conjunto de ações correspondentes as referidas prioridades de intervenções aferidas pelo índice  $IPI_{(SE)}$  (Tabela 1).

Zonensein et al., (2008) consideraram que o  $I_{DD}$  se refere à quantidade de pessoas e bens atingidos pela inundação. Assim, assumiu-se que, quanto maior for a densidade de domicílio ( $DD$ ), maior será magnitude dos impactos das inundações sobre bens imóveis situados na zona marginal à linha de água. Deste modo, os autores estabeleceram o limite de 30.000 domicílios/km<sup>2</sup>, sendo o  $I_{DD} = 1$ , pelo que  $I_{DD} = 3,3 \times 10^{-5}(DD)$ .

O impacto sobre acessibilidade e mobilidade está associado a magnitude do evento de inundação vir a interromper pedestres e o tráfego veicular, quer pelo número de veículos, quer pela importância de vias afetadas. Rezende (2018) e Zonensein et al., (2008), caracterizaram as consequências das inundações sobre a mobilidade e acessibilidade urbana em função de níveis hierárquicos (categorias) de vias, sob trilhos ou não.

Deste modo, a aferição do índice  $I_{AM}$  se refere ao impacto provocado na zona marginal à linha de água, avaliando-se que, quanto maior for a importância das vias, associado à sua categoria e fluxo de veículos, e da oferta de estações de trens, metrô, etc, relacionado a maior permanência de zonas marginais alagadas, maiores serão as consequências das inundações à mobilidade e acessibilidade de pessoas e ao sistema de transporte, expresso por:

**Tabela 1.** Enquadramento e caracterização do grau de prioridade de intervenção socioeconômica.

Intervenção	Ações correspondente a prioridade de intervenções socioeconômicas
<p>Imediata</p> <p><math>1 \leq IPI_{(SE)} \leq 0,71</math></p> 	<p>Remoção coercitiva para habitações públicas e indenização de populações.</p> <p><b>Inclusão:</b> no programa de saúde pública, no programa de assistência social, de auxílios e subsídios sociais. <b>Instalação:</b> de placas de sinalizações nas vias para alertar sobre o perigo em trafegar em vias suscetíveis às inundações, indicar as rotas alternativas para desvio do tráfego veicular e acesso à transportes públicos (ônibus, BRT, trens, metrô, VLT, etc). <b>Implantação:</b> sistema temporário para tratar esgotos domiciliar e contentores de armazenamento temporário de resíduos sólidos às margens dos canais. <b>Promoção:</b> palestras sobre educação ambiental e primeiros socorros frente a evento de inundações, nos centros comunitários, ou locais de apoio (como igrejas, ginásios, etc).</p>
<p>Corretiva</p> <p><math>0,7 \leq IPI_{(SE)} \leq 0,5</math></p> 	<p>Indenização para possível remoção de populações para habitações públicas.</p> <p><b>Inclusão e ampliação:</b> programa de saúde pública, assistência social, auxílios e subsídios sociais. <b>Instalação:</b> de placas de sinalizações nas vias para alertar sobre o perigo em trafegar em vias suscetíveis às inundações, indicar rotas alternativas para desvio do tráfego veicular e acesso aos transportes públicos (ônibus, BRT, trens, metrô, VLT, etc). <b>Implantação:</b> sistema temporário para tratar esgotos domiciliar e elaboração de estudos para rede de esgoto; e, contentores de armazenamento temporário de resíduos sólidos às margens dos canais. <b>Promoção:</b> oficinas sobre educação ambiental e treinamento em primeiros socorros frente a um evento de inundações, nos centros comunitários, ou locais de apoio (como igrejas, ginásios etc.).</p>
<p>Preditiva</p> <p><math>0,51 \leq IPI_{(SE)} \leq 0,3</math></p> 	<p><b>Ampliação:</b> da abrangência do programa de saúde pública, de assistência social, de auxílios e subsídios sociais. <b>Instalação:</b> placas de sinalizações para indicar as rotas alternativas para o desvio do tráfego veicular e acesso para os transportes públicos (ônibus, BRT, trens, metrô, VLT, etc). <b>Implantação:</b> rede coleta de esgotos, e contentores de armazenamento temporário de resíduos sólidos às margens dos canais. <b>Promoção:</b> oficinas sobre educação e conscientização ambiental e primeiros socorros frente a um evento de inundações, nos centros comunitários, ou locais de apoio (como igrejas, ginásios etc.)</p>
<p>Preventiva</p> <p><math>0,31 \leq IPI_{(SE)} \leq 0</math></p> 	<p><b>Ampliação e consolidação:</b> do programa de saúde pública, assistência social, de auxílios e subsídios sociais. <b>Instalação:</b> placas de sinalizações para indicar rotas alternativas para o desvio do tráfego veicular e acesso para os transportes públicos (ônibus, BRT, trens, metrô, VLT, etc). <b>Implantação ou ampliação ou gestão:</b> rede coletora de esgotos; e contentores de armazenamento temporário de resíduos sólidos. <b>Promoção:</b> de cursos sobre educação ambiental e primeiros socorros frente a um evento de inundações, nos centros comunitários, ou locais de apoio (como igrejas, ginásios, etc);</p>

$$I_{TV} = \left[ \frac{\sum_i^n \left( \frac{n_i}{N_i} \right)}{\sum_i^n i_{TV}} + \frac{\sum_i^n \left( \frac{n_{i(t)}}{N_{i(t)}} \right)}{\sum_i^n i_{TV(t)}} \right]^{p_1} [FP]^{p_2} \quad (2)$$

Em que  $n_i$  é o número de vias de  $i$ -categorias. O termo  $N_i$  e  $i_{TV}$  se referem a respectivamente, ao número de  $i$ -categorias na área marginal à linha de água e, o índice relativo as consequências das inundações em função da categoria da via (Tabela 2).

**Tabela 2.** Categorias de vias e oferta de transporte e graus de consequência sobre mobilidade.

$i_{TV}$	Categoria das vias	$i_{TV(t)}$	Oferta de estações de trem, metro, VLT	Consequência das inundações sobre a mobilidade
1,00	Avenidas ( $L > 20$ m)	1,00	Ótima	Alto ( $0,60 < I_{TV} \leq 1,00$ )
0,80	Travessa ( $7,20 \leq L \leq 19,99$ m)	0,80	Boa	
0,60	Rua ( $3,61 \leq L \leq 7,19$ m)	0,60	Regular	Moderado ( $0,30 < I_{TV} \leq 0,60$ )
0,20	Passagem	0,40	Ruim	Baixo ( $0 < I_{TV} \leq 0,30$ )
0,10	Vila	0,00	Nulo	

Fonte: Adaptado pelo Autor a partir de Rezende (2018) e Zonensein et al., (2008)

Considera-se o efeito das inundações urbana sobre a mobilidade de veículos sobre trilhos como trem, metrô, VLT (Veículo Leve sob Trilhos). O termo  $i_{TV(t)}$  está associado a quantidade de estações na zona marginal em análise, seu antecedente e precedente, considerando raio (R) no intervalo entre  $500 \leq R \leq 1.000$  m. Os termos  $N_{i(t)}$  e  $i_{TV(t)}$  se referem, respectivamente, a quantidade de estações na zona marginal do bairro-*b*, e o índice relativo associado a oferta de estações proposto por Rezende (2018) (Tabela 2).

A primeira parte da equação (2) permite avaliar as consequências das inundações sobre a malha viária urbana (sob trilhos ou não), considerando ainda existir as interseções e conjugações de várias vias que estejam interligadas, pelo que o fluxo de veículos seja dependente, interdependente e/ou independente umas das outras.

Assume-se que, em zonas marginais, ainda que as consequências sejam mais sentidas em vias de maior fluxo de veículos e pela disponibilidade de mais estações de trem, metro, VLT, a existência de conexões com outras vias e/ou estações de menor fluxo podem diminuir este impacto, em que estas vias e/ou estações podem, inclusivamente, atuar como rotas alternativas aos alagamentos.

Entretanto, a disponibilidade de vias e estações de maior ou menor fluxo, e a acessibilidade e mobilidade das populações por estas vias podem ser igualmente impactadas pelo tempo de permanência dos alagamentos. Assim, Rezende (2018) e Zonensein et al., (2008) propuseram o fator de permanência (FP), definindo-se três classes para avaliar as consequências do período e altura de permanência do alagamento sobre mobilidade e acessibilidade ao sistema de transporte pelas vias e pelas populações (Tabela 3).

Ainda assim, os termos  $p_1$  e  $p_2$  se referem a importância que é dada aos componentes da equação (2), nomeadamente a mobilidade e acessibilidade de pedestres e das vias urbana (rodoviário, ferroviário, metroviário), e a permanência do alagamento. Pela associação entre ambas as partes da equação (2), parte-se do

princípio de que a permanência do alagamento pode catalisar as consequências dos alagamentos sobre a mobilidade e acessibilidade ao tráfego de pessoas.

**Tabela 3.** Permanência das inundações e suas consequências para mobilidade urbana.

Tempo – t (minutos)	Fator de Permanência (FP)	Consequências
180	$FP=0,0056x(t)$	Alto impacto para acessibilidade e mobilidade de pessoas, restrição de passagem viárias e aumento do risco de transmissão de doenças de veiculação hídrica, cuja permanência do alagamento por 3 horas atingem alturas entre 10-25cm.
60	$FP=0,0167x(t)$	Alto impacto na mobilidade e acessibilidade de pessoas, em que o sistema de transporte é parcialmente afetado, cuja permanência do alagamento por 1 hora atinge alturas entre 25-50cm.
30	$FP=0,0333x(t)$	Alto impacto na mobilidade e acessibilidade ao sistema de transporte com sua total interrupção, cuja permanência do alagamento por 30 minutos atinge alturas > 50cm.

Fonte: Adaptado pelo Autor a partir de Rezende (2018) e Zonensein et al., (2008)

Deste modo, assume-se que o termo  $p_2$  é mais importante para avaliar o índice  $I_{AM}$ , pelo que empiricamente considera-se igual a 0,70, enquanto  $p_1$  é definido como 0,30. Assim, a permanência do alagamento é o principal elemento que pode aumentar as consequências sobre a acessibilidade e mobilidade urbana, bem como a sua persistência por igual ou maior tempo de 180 minutos aumenta os riscos de transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Quanto ao índice que pretende avaliar as consequências das inundações urbanas pela inadequação do saneamento ( $I_{SI}$ ) quanto mais próximo da unidade, mais expostas as pessoas que habitam zonas marginais à linha de água estarão aos riscos de doenças de veiculação hídrica. Para aferir  $I_{SI}$  recorreu-se a concepção teórica da pobreza hídrica, aferida por índice IPH (e.g., Foguet e Garriga, 2011).

A referida concepção foi adaptada para auxiliar, de forma holística, a gestão dos recursos hídricos, a partir de fatores sociais e ambientais, frente aos impactos das inundações urbanas pela inadequação do saneamento. Assim, considerou-se apenas quatro componentes: recursos hídricos (R), uso (U) e acesso a água (A), e o meio ambiente (M).

A componente (R) está associado a qualidade da água, a fonte hídrica para abastecimento, e questões de manejo dos recursos hídricos. O consumo de água para uso doméstico, a disponibilidade e percepção sobre seu uso e conservação, satisfazem a componente (U). A componente (A) considera o acesso aos serviços de abastecimento de água e esgoto. Integram-se ao componente (M) as questões sobre conhecimentos ambientais, separação, reaproveitamento e destinação dos

resíduos sólidos (Rosário et al., 2025). Estes componentes agregam-se de maneira ponderada para estimar  $I_{SI}$  por:

$$IPH = R_{wR} + U_{wU} + A_{wA} + M_{wM} \quad (3)$$

Este índice pode ser associado ao bairro em que se insere a zona marginal à linha de água. Neste caso, assume-se ser existente a relação entre a área da zona marginal e do bairro.

**Tabela 4.** Pobreza hídrica, inadequação do saneamento e os impactos frente à inundação urbana.

Situação hídrica	IPH*	$I_{SI}$	Caracterização
Excelente (E)	$9 < IPH < 10$	$0,00 < I_{SI} < 0,10$	Uso sustentável dos recursos hídricos com ampla cobertura dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e correta separação, acondicionamento temporário e destinação dos resíduos sólidos. Adequadas condições de saneamento, cuja exposição das populações aos riscos de contrair doenças de veiculação hídrica é muito baixa frente a eventos de inundações.
Bom (B)	$7 < IPH < 9$	$0,20 < I_{SI} < 0,10$	Uso dos recursos hídricos com boa cobertura dos serviços de abastecimento de água, alguma cobertura do esgotamento sanitário e separação, algum acondicionamento temporário (ainda com falhas) e destinação dos resíduos sólidos. Condições com alguma de adequação de saneamento, cuja exposição das populações aos riscos de contrair doenças de veiculação hídrica é baixa frente a eventos de inundações.
Regular (Re)	$7 < IPH < 5$	$0,30 < I_{SI} < 0,20$	Uso dos recursos hídricos com alguma cobertura dos serviços de abastecimento de água, cobertura do esgotamento sanitário e algum acondicionamento temporário (com falhas), e destinação dos resíduos sólidos. Condições de regular adequação de saneamento, cuja exposição das populações aos riscos de contrair doenças de veiculação hídrica é relativamente alta frente a eventos de inundações.
Ruim (Ru)	$5 < IPH < 0$	$1,00 < I_{SI} < 0,30$	Uso dos recursos hídricos sem cobertura dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, acondicionamento temporário e destinação dos resíduos sólidos com falhas. Condições inadequada de saneamento, cuja exposição das populações aos riscos de contrair doenças de veiculação hídrica é muito alta frente a eventos de inundações.

\*Adaptado a partir de Rosário et al., (2025).

Ainda que a falta de abrangência da rede de abastecimento de água possa provocar aumento da captação das águas subterrâneas através de poços (freáticos ou artesianos), com alguma consequência à manutenção do fluxo da linha de água, a combinação com a pouca abrangência e/ou falta da rede coletora de esgoto e de acondicionamento temporário e destinação dos resíduos sólidos poderia aumentar



o grau de risco de contrair doenças de veiculação hídricas e relacionados a água (e.g., Teixeira et al., 2014; Siqueira et al., 2017).

Para zona marginal, deve-se considerar qual a importância das referidas dimensões do saneamento e do meio ambiente, nomeadamente  $w_R$ ,  $w_U$ ,  $w_A$  e  $w_M$ , de modo a melhor ajustar-se à realidade local investigada. Importante considerar que, se a localidade dispõe de completa abrangência da rede de abastecimento de água e coleta de esgoto, as condições de resíduos sólidos devem ser enfatizadas, pelo que  $w_M > w_A > w_R > w_U$ . Se a localidade dispõe de completa abrangência da rede de abastecimento de água, as condições da coleta de esgoto devem apresentar maior importância do que resíduos sólidos, de modo que  $w_A > w_M > w_R > w_U$ .

Os pesos dos componentes podem ser atribuídos conforme a proposição de Brito et al., (2020) e Rosário et al., (2025). Entretanto, considerando a adoção de quatro componentes, estes pesos devem ser redistribuídos, de forma proporcional, pelo que se pode utilizar o método AHP proposto por Saaty (1980).

Considerando que o valor de  $I_{SI}$  varia entre 0 e 1, cujo valor de “0” representa o saneamento adequado (menor pobreza hídrica e baixa exposição das populações aos riscos de contrair doenças de veiculação hídrica frente a inundações) para atingir as condições necessárias de qualidade da água para uso dos cursos de água para múltiplos fins, melhoria na gestão das inundações e do habita ecológico.

Enquanto o valor de  $I_{SI}$  mais aproxima-se de “1”, condiciona-se, restringe-se ou até mesmo proíbe-se o uso da linha de água para outras fins que não seja apenas escoar as águas pluviais, sem condições de manter mínimos serviços ecológicos (maior a pobreza hídrica e elevada exposição das populações aos riscos de contrair doenças de veiculação hídrica frente a inundações). Para considerar as condições de saneamento e a pobreza índica, adotou-se a seguinte formulação:

$$I_{SI} = \frac{10 - IPH}{10 + IPH} \quad (4)$$

Assumindo-se que a renda seja o valor econômico absoluto dos prejuízos decorrentes de danos à estrutura de bens imóveis e seu conteúdo, o índice  $I_{RF}$  foi atualizado a partir Zonensein et. al., (2008). Estes autores basearam-se nas curvas “profundidade-dano” em função de diferentes classes socioeconômicas, obtidas pelos estudos de Machado et al., (2005). Assim, recorreu-se a classificação da renda proposto por ABEP (2024), sendo possível estimar o índice  $I_{RF}$  conforme as equações expressas na Tabela 5.

**Tabela 5.** Classe de renda e índice renda para aferir danos socioeconômicos das inundações.

Classes de Renda	Renda média*	Estimativa de $I_{RF}$
A	> R\$ 26.000,0	1,00
B	R\$ 8.000,0 – R\$ 26.000,0	
C	R\$ 8.000,0 – R\$ 5.000,0	$I_{RF} = 0,0002(RF) - 0,5223$
D	R\$ 5.000,0 – R\$ 3.500,0	$I_{RF} = 10^{-4}(RF) - 0,1916$
E	< R\$ 3.500,0	0,00

\*Estimado para 2024.

Fonte: Adaptado pelo Autor a partir de Zonensein et al., (2008).

A atribuição da importância relativa dos critérios que compõem o  $IPI_{(SE)}$  foi efetuada considerando atender os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), proposto pela Organização das Nações Unidas (ONU), nomeadamente quanto a “água potável e saneamento” e “cidades e comunidades sustentáveis”.

Neste contexto, ainda que assegurar a disponibilidade e gestão sustentável do saneamento para todas e todos possa atender a ODS nº 6, este critério quando atendido e adequado pode melhorar a qualidade da água e da biota aquática dos canais fluviais, diminuindo a exposição das populações que habitam as zonas marginais os riscos de contrair doenças de veiculação hídricas.

Portanto, o critério saneamento inadequado ( $I_{SI}$ ) e densidade de domicílios afetados ( $I_{DD}$ ) são os mais importância para aferir a prioridade de intervenção na zona marginal à linha de água. Em seguida, considerando a perspectiva de tornar as cidades e comunidades mais seguras, resilientes e sustentáveis, no âmbito de se atingir o ODS nº 11, pondera-se a importância dos critérios acessibilidade e mobilidade ( $I_{AM}$ ) e da renda familiar ( $I_{RF}$ ).