



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

USO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE URBANA A CHEIAS NO PLANEJAMENTO URBANO

Gabrielly Cristhiane Oliveira e Silva^{1} & Marcelo Gomes Miguez² & Leandro Torres Di Gregorio³*

Resumo – Dentre os diferentes desastres socionaturais que acontecem ao redor do mundo, as cheias figuram entre os que causam os maiores impactos socioeconômicos às populações. Recentemente têm-se buscado uma integração entre o que é estudado, planejado, projetado e executado em drenagem urbana com aquilo que é planejado para o ordenamento territorial nos municípios. Este trabalho sugere o uso do ferramental da gestão do risco de cheias conjuntamente com a definição do zoneamento urbano legal – fazendo uso de uma avaliação da vulnerabilidade urbana frente a processos de cheias –. Um caso de estudo foi desenvolvido para uma micro-bacia plenamente urbanizada na cidade de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso. A avaliação da vulnerabilidade a cheias foi traduzida para um índice e espacializada com uso de ferramenta GIS. Em sequência foi executada a superposição deste mapeamento com o zoneamento urbano previsto para Cuiabá; para que pudessem ser feitas as análises transversais, a fim de promover lições e melhoramentos para o planejamento urbano.

Palavras-Chave – vulnerabilidade, cheias urbanas, planejamento urbano.

USE OF URBAN VULNERABILITY TO FLOODS INDEX IN THE URBAN PLANNING

Abstract – Various socioeconomic disasters that occur around the world are related with floods, representing the greatest socioeconomic impacts to populations worldwide. Recently, the integration between what is studied, planned, designed and executed in urban drainage and what is proposed for the territorial planning in the municipalities is being sought as part of the urban flooding solutions. This work suggests integrating the use of flood risk management tools within legal urban zoning definitions. To address this aim, we will make use of a vulnerability assessment of the urban areas subjected to floods -. A case study considering a fully urbanized small catchment was developed in the city of Cuiabá, the capital of Mato Grosso state. The flood vulnerability assessment was translated into a vulnerability index spacialized using the GIS tools. In sequence, the obtained vulnerability maps were superposed with the urban zoning provided for Cuiabá, in a way that a cross-sectional analysis could be done, in order to learn lessons and promote improvements for the urban planning process.

Keywords – vulnerability, urban floods, urban planning.

¹Engenheira Sanitarista – Doutoranda em Engenharia Civil PEC/COPPE – UFRJ gabrielly@coc.ufrj.br

² Engenheiro Civil – Professor Doutor PEC/COPPE – UFRJ marcelomiguez@poli.ufrj.br

³ Engenheiro Civil – Professor Doutor Escola Politécnica – UFRJ leandro.torres@poli.ufrj.br



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

1.0 INTRODUÇÃO

Dentre os diferentes desastres sionaturais que acontecem ao redor do mundo, as cheias figuram entre os que causam maiores impactos às populações em termos socioeconômicos. Estima-se que as cheias sejam responsáveis por mais de um terço das perdas econômicas e por cerca de dois terços do número total de pessoas afetadas mundialmente (MENDIONDO, 2010).

Historicamente, os problemas associados a enchentes nas áreas urbanas foram imputados, principalmente, ao excesso de chuvas – diminuindo a importância dos efeitos provocados pelas ações humanas sobre a bacia hidrográfica. As soluções de engenharia buscavam o aumento da capacidade de escoamento dos rios e canais para resolver tais problemas, caracterizando a conceitualização básica dos sistemas convencionais de drenagem urbana (BAPTISTA *et al.*, 2011).

Porém, com o passar dos anos, tais problemas continuaram a persistir, o que levou a uma busca de conhecimento técnico que viesse a minimizar as situações de alagamentos e inundações enfrentadas nas cidades. Nesse caminho, passou-se a investigar mais a fundo como se dá a relação da drenagem urbana com os acontecimentos em escala de bacia hidrográfica e, principalmente, buscou-se uma integração entre o que é estudado, planejado, projetado e executado em drenagem urbana com aquilo que é planejado para o ordenamento territorial nos municípios, uma vez que o uso do solo é determinante na relação de geração de escoamentos superficiais.

Percebe-se um aumento da urbanização cada vez mais pungente nos dias atuais, processo este mais elevado em algumas regiões asiáticas e na América Latina e que vem alterando o perfil da população mundial (ONU – HABITAT, 2013). Em pouco mais de 50 anos, o Brasil passou de um país majoritariamente rural para um país (muito) urbano, com 84% da sua população morando em cidades, estimada em 190 milhões pelo IBGE habitando as cidades (IBGE, 2010).

A urbanização sem planejamento, sem reconhecimento dos limites naturais impostos para modificações das bacias hidrográficas e sem controle do uso do solo, é um dos agravantes das inundações; em função da maior pressão que a urbanização exerce sobre o sistema de drenagem urbana (que, em boa parte dos casos, já é deficiente) tornando, assim, mais graves as consequências geradas em função da maior quantidade de pessoas e valores expostos, bem como são aumentados os custos financeiros envolvidos na remediação das inundações (MIGUEZ *et al.*, 2015).

O aumento no número de ocorrências de inundações com impactos deletérios tem despertado cada vez mais o interesse de diversos setores da sociedade por medidas que permitam compreender esses eventos, reduzindo seus impactos e, também, preparar a sociedade e a cidade para conviver de maneira mais ordeira com essa nova realidade – provocada tanto pela urbanização, quanto pelas alterações em termos climáticos (Sayers *et al.*, 2013). A cultura de prevenção, mitigação e adaptação, em termos de inundações, precisa ser mais bem explorada e incorporada no planejamento urbano (ISDR, 2007).

Assim, o planejamento de um sistema de drenagem urbana deve ser concebido e executado dentro de um contexto mais abrangente, referente ao planejamento de todo o ambiente urbano em uma bacia hidrográfica, integrando o sistema de drenagem com os outros sistemas do ambiente



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

urbano e com o próprio desenvolvimento da cidade (World Bank, 2012). Nesta nova visão técnica sobre as cheias urbanas, percebe-se a importância em se tratar o problema desde a geração inicial do escoamento, através de ações planejadas e distribuídas sobre a paisagem urbana, com intuito de retardar os picos de cheia e buscar melhorar as atuais condições do escoamento (CIRIA, 2013).

Atualmente, está-se buscando trabalhar com uma abordagem integrada e simultânea entre o manejo das águas pluviais e os planos de ordenamento/zonamento territorial, já que, física, social e politicamente, não há como ser feita a gestão separada destes. Como exemplo desta assertiva, pode-se citar, de forma simplista, para ilustração, a seguinte situação hipotética: Poderia haver a autorização de ocupação social de uma área onde o período de retorno das cheias é de 2 a 5 anos?

O objetivo principal deste trabalho é a proposição do uso conjunto de ferramentas da gestão do risco de cheias e do planejamento urbano: através do uso das informações produzidas a partir da sobreposição de um mapa de vulnerabilidade de uma área urbana frente a processos de cheias, com o zoneamento urbano previsto para esta mesma área. Foi escolhida como caso de estudo uma micro-bacia completamente urbanizada em Cuiabá (Mato Grosso), cidade que, assim como outras no Brasil, apresentam problemas no que tange ao planejamento e ordenamento territorial, bem como situações deletérias resultantes das cheias urbanas.

2.0 ÍNDICE DE VULNERABILIDADE URBANA A CHEIAS

Vulnerabilidade pode ser entendida como a conjugação das condições determinadas por fatores físicos, econômicos, sociais e ambientais, que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade aos impactos das ameaças a que são expostas (UNDP, 2004). Para O'Riordan (2002), a vulnerabilidade é dada pela incapacidade de um grupo social evitar o perigo relacionado a catástrofes naturais, ou ao fato de ser forçado a viver em condições de perigo; tal situação decorre da combinação de processos econômicos, sociais, ambientais e políticos.

Face à complexidade da vulnerabilidade, mensurá-la requer a integração de informações de diversas áreas de conhecimento. Este trabalho faz parte de uma pesquisa mais abrangente sobre a temática de gestão do risco de cheias em áreas urbanas e, ao longo desta pesquisa foi enunciado o chamado Índice de Vulnerabilidade Urbana a Cheias (IVUC). Há uma preocupação pela plena replicabilidade do índice, de forma que os indicadores selecionados são disponibilizados por órgãos públicos e de livre acesso. Para melhor entendimento, foi feita uma compartimentalização em 4 subíndices, sendo estes: *Econômico*, *Social*, *Infraestrutura* e *Ambiental*, e seus indicadores. Para normalização das variáveis foi executada a distribuição das pontuações de vulnerabilidade em cinco faixas de variação (entre 1 e 5, do menor valor em direção ao mais alto), detalhadas no Quadro 1.

Quadro 1: Indicadores IVUC e faixas de valores.

ECONÔMICO	Preço m ²	1: Valor do m ² < 15% do m ² mais elevado da área 2: Valor do m ² entre 15% e 30% do m ² mais elevado da área 3: Valor do m ² entre 30% e 45% do m ² mais elevado da área 4: Valor do m ² entre 45% e 60% do m ² mais elevado da área 5: Valor do m ² > 60% do m ² mais elevado da área
-----------	----------------------	---



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

	<p>Condições do entorno <i>(Características do entorno dos domicílios com relação à cobertura de serviços públicos de saneamento, pavimentação e iluminação)</i></p>	<p>1: Condição entorno ideal com 100% cobertura 2: Condição entorno com cobertura entre 90% e 100% 3: Condição entorno com cobertura entre 75% e 90% 4: Condição entorno com cobertura entre 60% e 75% 5: Condição entorno com cobertura < 60%</p>
SOCIAL	<p>Distribuição etária</p>	<p>1: < 5% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos 2: 5% a 10% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos 3: 10% a 15% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos 4: 15% a 20% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos 5: > 25% da população entre 0 e 10 anos ou acima de 65 anos</p>
	<p>Renda domiciliar <i>(Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita (SM – salário mínimo))</i></p>	<p>1: Maior % Domicílios com rendimento > 10 SM 2: Maior % Domicílios com rendimento entre 5 e 10 SM 3: Maior % Domicílios com rendimento entre 3 e 5 SM 4: Maior % Domicílios com rendimento entre 1 e 3 SM 5: Maior % Domicílios com rendimento < 1 SM</p>
	<p>Densidade Populacional</p>	<p>1: DP < 50 hab/Km² 2: DP entre 50 e 100 hab/Km² 3: DP entre 100 e 250 hab/Km² 4: DP entre 250 e 500 hab/Km² 5: DP > 500 hab/Km²</p>
INFRAESTRUTURA	<p>Tráfego</p>	<p>1: Hierarquização viária: via local 2: Hierarquização viária: via coletora 3: Hierarquização viária: via arterial 4: Hierarquização viária: via estrutural 5: Hierarquização viária: via expressa</p>
	<p>Tipo de domicílio</p>	<p>1: Maioria dos domicílios são apartamentos 2: Proporção semelhante entre apartamentos e casas de vila 3: Maioria dos domicílios são casas de vila 4: Maioria dos domicílios são casas 5: Praticamente a totalidade dos domicílios são casas</p>
	<p>Presença de escolas e hospitais</p>	<p>1: Ausência de centros de ensino e hospitais 2: Mínimo – 1 centro de educação infantil 3: Mínimo – 1 centro de ensino de nível fundamental 4: Mínimo – 1 centro de ensino de nível médio 5: Mínimo – 1 centro de saúde, hospital ou centro universitário</p>
AMBIENTAL	<p>Esgotamento Inadequado <i>(Soma dos lançamentos em fossas (sépticas ou negras), vala, rio, mar e locais sem nenhum tipo de esgotamento)</i></p>	<p>1: < 20% dos domicílios possuem esgotamento inadequado 2: 20% a 40% dos domicílios possuem esgotamento inadequado 3: 40% a 60% dos domicílios possuem esgotamento inadequado 4: 60% a 80% dos domicílios possuem esgotamento inadequado 5: > 80% dos domicílios possuem esgotamento inadequado</p>
	<p>Resíduos Sólidos <i>(Os resíduos sólidos podem ser: coletados, queimados, enterrado ou dispostos a céu aberto)</i></p>	<p>1: > 90% dos domicílios possui coleta de resíduos 2: 80% a 90% dos domicílios possui coleta de resíduos 3: 70% a 80% dos domicílios possui coleta de resíduos 4: 60% a 70% dos domicílios possui coleta de resíduos 5: < 60% dos domicílios possui coleta de resíduos</p>

O equacionamento proposto para o cálculo do índice tem base em um produtório de somatórios, conforme a equação a seguir e o detalhamento no Quadro 2.

$$IVU = \left\{ [I_{Ce}^E \cdot P_{Ce}^E + I_{m2}^E \cdot P_{m2}^E]^{qE} \times [I_{De}^S \cdot P_{De}^S + I_{R}^S \cdot P_{R}^S + I_{Dp}^S \cdot P_{Dp}^S]^{qS} \times [I_{T}^I \cdot P_{T}^I + I_{Td}^I \cdot P_{Td}^I + I_{EH}^I \cdot P_{EH}^I]^{qI} \times [I_{Ei}^A \cdot P_{Ei}^A + I_{Rs}^A \cdot P_{Rs}^A]^{qA} \right\}$$

XXII SÍMPOSIOS BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

Quadro 2: Detalhamento da equação do IVUC

q_E : peso subíndice Econômico	I_{C_E} : indicador Condições do entorno; p_{C_E} : peso indicador Condições do entorno;	I_{PE} : indicador Preço m ² ; p_{PE} : peso indicador Preço m ² ;
q_S : peso subíndice Social	I_{D_E} : indicador Distribuição etária; p_{D_E} : peso indicador Distribuição etária; I_R : indicador Renda;	p_R : peso indicador Renda; I_{D_P} : indicador Densidade populacional; p_{D_P} : peso indicador Densidade populacional;
q_I : peso subíndice Infraestrutura	I_T : indicador Tráfego; p_T : peso indicador Tráfego; I_{T_d} : indicador Tipo de domicílio;	p_{T_d} : peso indicador Tipo de domicílio; I_{EH} : indicador Escolas e Hospitais; p_{EH} : peso indicador Escolas e Hospitais;
q_A : peso subíndice Ambiental	I_{E_i} : indicador Esgotamento inadequado; p_{E_i} : peso indicador Esgotamento inadequado;	I_{R_s} : indicador Resíduos sólidos; p_{R_s} : peso indicador Resíduos sólidos;

3.0 CASO DE ESTUDO

Cuiabá é a capital do estado de Mato Grosso, localizado na região Centro-Oeste do Brasil. A cidade possui cerca de 550.000 habitantes (IBGE, 2010) e, de modo semelhante a outras cidades, o processo de urbanização ocorreu de forma desordenada, especialmente entre 1960 e 1980. A cidade possui seu Plano Diretor aprovado pela Lei Municipal nº 150/2007. Em 2011 e 2014, respectivamente, foram aprovados os Planos de Água/Esgoto e de Resíduos Sólidos; porém, o Plano de Drenagem Urbana segue em construção. Destaca-se, ainda, a Lei Municipal de Uso, Ocupação e Urbanização do Solo, de nº 389/2015, que apresenta o zoneamento urbano municipal previsto.

O foco deste estudo, tomado como representativo da situação de Cuiabá é a micro-bacia do córrego Barbado, que possui 12 km² e tem como principal corpo d'água o córrego de mesmo nome, com 9 km de extensão, atravessando diversos bairros do município, conforme a Figura 1 (CUIABÁ, 2009). No trecho superior, a bacia ainda se encontra com baixo nível de antropização, porém, após o trecho médio, esta foi praticamente toda alterada. Em sua área, se localizam importantes equipamentos comunitários: o Centro Político e Administrativo do Estado, o Instituto Federal de Educação de Mato Grosso, a Universidade Federal de Mato Grosso, além de eixos viários estruturais. Nos últimos anos, a área vem sofrendo intervenções de obras de engenharia com foco em canalizações/retificações, aumentando o potencial de transferência das inundações para jusante.

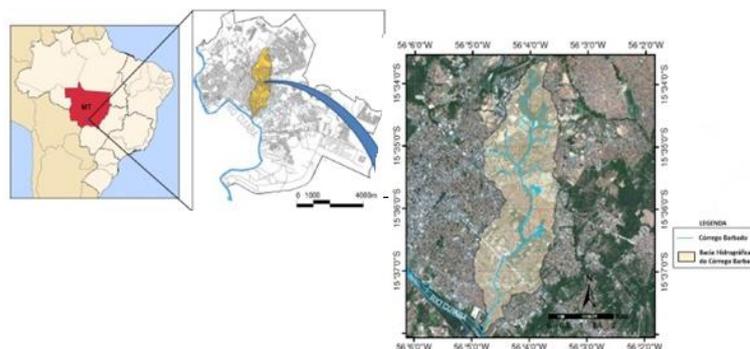


Figura 1: Localização micro-bacia córrego Barbado

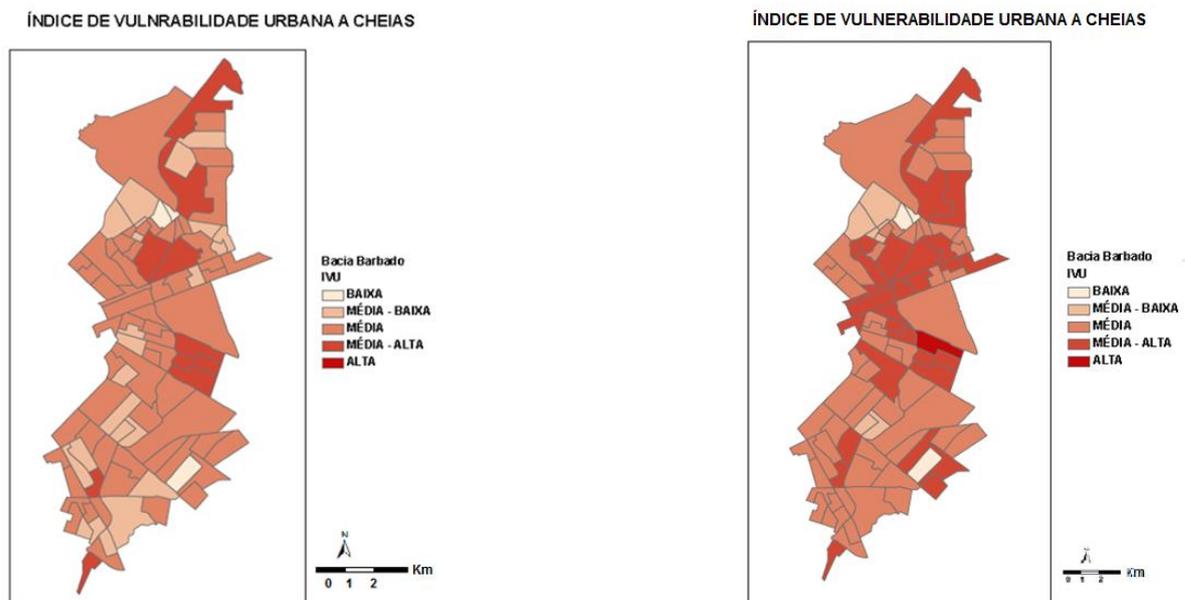
XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

3.1. Aplicação do IVUC

São apresentadas duas aplicações do índice de vulnerabilidade para o estudo de caso, ambas espacializadas com uso de ferramenta GIS, tomando os setores censitários como unidade de discretização geográfica. Como forma inicial e simplista, foram adotados tanto para os indicadores quanto os subíndices, pesos de igual valor; a Figura 2.a traz essa representação. Foram realizados diversos testes onde se buscou uma variação da determinação dos pesos aplicados. Uma aplicação selecionada pelos autores para representar a vulnerabilidade do local está na Figura 2.b, onde propõe-se que os subíndices *Infraestrutura e Social* possuam o mesmo peso (0,37 cada) e, os subíndices *Econômico e Ambiental* possuam menor valor (0,13 cada). Para os indicadores, é dado um peso maior para o Tráfego, Tipo de domicílio, Idade e Renda.



Figuras 2.a e 2.b: Aplicação do Índice de vulnerabilidade

3.2. Mapeamento de vulnerabilidade urbana versus zoneamento urbano

No zoneamento previsto para Cuiabá, são consideradas 3 macrozonas: a Zona Urbana de Uso Múltiplo, a Zona de Expansão Urbana e as Zonas Urbanas Especiais. Estas últimas são subdivididas em 13 subcategorias, sendo algumas destas: Zonas Predominantemente Residenciais (ZPR), Zonas Centrais (ZC), Zonas de Interesse Ambiental (ZIA), Zona de Interesse Histórico (ZIH), Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), e as Zonas de Corredores de Tráfego (ZCTR).

Foi executada a combinação do mapa do índice de vulnerabilidade (Figura 2.b) com o zoneamento urbano de Cuiabá (Figura 3.a), conforme apresentado na Figura 3.b, para que com essa superposição pudesse ser verificado o comportamento do zoneamento quando em comparação à resposta obtida pela avaliação da vulnerabilidade da área urbanizada frente os processos de cheias.

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

Planta do Zoneamento Urbano de Cuiabá



Zoneamento urbano e Mapeamento da vulnerabilidade

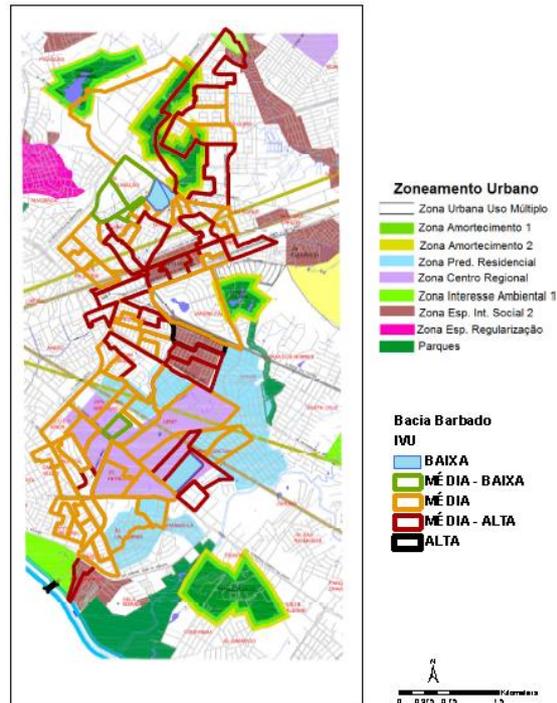


Figura 3.a: Detalhe do zoneamento urbano; Figura 3.b: Superposição dos mapas de zoneamento e vulnerabilidade

São destacadas algumas zonas na Figura 3.a: a área em tom de roxo mais claro se constitui em um subcentro regional (em função da UFMT e do entorno da Av. Fernando Correa); as faixas em degradê de verde a amarelo são consideradas como parques e suas zonas de amortecimento; e as zonas em tom de marrom são classificadas como zona especial de interesse social.

Quando feita a análise da Figura 3.b, pode ser notado que áreas com classificação de vulnerabilidade urbana média a média-alta estão superpostas a áreas com classificação de parques e suas zonas de amortecimento – como visto no trecho superior da Bacia; já as zonas de interesse social praticamente se encontram todas nos setores censitários classificados com média-alta e alta vulnerabilidade urbana a cheias, sendo que essas áreas consistem majoritariamente em ocupações irregulares por população de baixa renda e infraestrutura deficiente.

Pode ser percebido que, no planejamento proposto pela cidade, em algumas situações, não é feita a devida consideração da questão ambiental. Como exemplo, uma área que possui fragilidades com relação a eventos de cheias, possui ocupação por população de baixa renda e falhas na infraestrutura urbana, recebendo a classificação de zona de interesse social – o que habilita a área ao processo de regularização parcial ou total. Assim, tal classificação oficializa a ocupação em uma área com elevada vulnerabilidade a cheias, ao invés de buscar promover as adequações necessárias para posterior ocupação, como pode ser visto no trecho central e no exutório da Bacia do Barbado.



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

4.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente é percebido que a temática socioambiental adentrou o debate sobre o planejamento urbano, sendo interessante a busca pela definição e uso de índices e indicadores que apontem indícios de como ocorre a distribuição da vulnerabilidade nas cidades. A análise da vulnerabilidade é uma ferramenta bastante importante, tanto nas etapas de planejamento, quanto de controle do uso do solo.

Um índice é uma medida utilizada para compreender sobre uma determinada realidade ou dimensões particulares desta; assim, um instrumento como o IVUC – baseado no uso de informações de livre acesso e de fácil operação matemática – pode ser utilizado para o atendimento da demanda por informações para a formulação de políticas, tomada de decisões em esferas públicas, bem como a divulgação de resultados pelos meios de comunicação.

Além do uso apresentado no planejamento urbano, outros órgãos também podem se utilizar do índice de avaliação da vulnerabilidade, como por exemplo, a Defesa Civil, que pode fazer uso das informações de vulnerabilidade urbana a cheias para realizar ações de preparação, resposta e recuperação, uma vez que serão conhecidas as peculiaridades locais.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, M. *et al.* (2011). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. 2ª edição, Porto Alegre: ABRH, p.318.
- CIRIA. (2013). *Water Sensitive Urban Design in the UK – Ideas for built environment practitioners*. Publication C723, London.
- CUIABA, Prefeitura Municipal. (2009). Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. *Perfil Socioeconômico de Cuiabá*. Central de Texto.
- IBGE. (2010). *Censo Demográfico*. Brasil.
- ISDR. (2007). *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the resilience of nations and communities to disasters*
- MENDIONDO, E. M. (2010). *Reducing vulnerability to water-related disasters in urban areas of the humid tropics; in Integrated Urban Water Management: Humid Tropics*. UNESCO, v.6. Paris.
- MIGUEZ, M.G. *et al.* (2015). *Drenagem Urbana: do projeto tradicional a sustentabilidade*. Rio de Janeiro, Elsevier, 1ª edição, p.384.
- ONU – HABITAT. (2013). *24ª Sessão do Conselho de Governança do Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos*. Quênia.
- O'RIORDAN, T. (2002). *Precautionary Principle, Encycloedia of Global Environmental Change*, vol. 4. Chichester, UK: John Wiley.
- SAYERS, P. *et al.* (2013). *Flood Risk Management: A Strategic Approach*. Paris, UNESCO.
- WORLD BANK. (2012). *Cities and Flooding. A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. Washington, DC.
- UNDP. (2004). *Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report*. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York.