

Gestão Integrada dos Recursos Hídricos e a Problemática das Inundações Urbanas

Integrated Management of Water Resources and the Problem of Urban Flooding

Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y la Problemática de las Inundaciones Urbanas

Filipe da Silva Peixoto¹

João Paulo Bezerra Rodrigues²

Paulo Igor de Melo Albuquerque³

RESUMO: As inundações e enchentes urbanas têm sido um dos principais problemas em muitas cidades. O presente ensaio busca delimitar esse fenômeno através das abordagens metodológicas mais utilizadas: perigo (*hazards*), susceptibilidade e vulnerabilidade socioambiental, além de indicar medidas de controle, possíveis caminhos e desafios para soluções propostas pela evolução e desenvolvimento da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos - GIRH. Concepções integradas das inundações e enchentes urbanas vêm apontando para a necessidade de gestão dos riscos e identificação das vulnerabilidades socioambientais para a minimização das perdas de vidas e materiais. A GIRH possui potencial de fundamentar meios eficazes de equacionamento dos problemas das inundações e enchentes urbanas, tendo capacidade axial de integração entre políticas de recursos hídricos e uso do solo. No nível institucional, no caso brasileiro, o principal desafio é articular os interesses do município nas políticas de uso e ocupação do solo aos planos estaduais ou nacional dos recursos hídricos. Para superar esse desafio são necessários estudos na perspectiva holística do problema, de modo a subsidiar e justificar perante às autoridades a necessidade de políticas de uso e ocupação do solo vinculadas à gestão hídrica gerando maior participação dos municípios nos processos de efetivação da GIRH.

PALAVRAS-CHAVE: Conservação dos recursos naturais. Uso e ocupação do solo. Riscos. Vulnerabilidade socioambiental. Medidas de controle de inundações.

ABSTRACT: *Urban floods have been one of the main problems in the cities. The present essay tries to delimit this phenome through of methodological approach of the hazards, risks, socio-environmental*

¹ Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN). Campus Universitário Central, Rua Professor Antônio Campos, s/n, BR 110, km 48, Bairro Costa e Silva – Mossoró/RN | 59600-000. fpeixoto10ufc@gmail.com.

² Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN). Campus Universitário Central, Rua Professor Antônio Campos, s/n, BR 110, km 48, Bairro Costa e Silva – Mossoró/RN | 59600-000. jotapaulo87@gmail.com.

³ Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN). Campus Universitário Central, Rua Professor Antônio Campos, s/n, BR 110, km 48, Bairro Costa e Silva – Mossoró/RN | 59600-000. ppauloigorr@gmail.com.

vulnerability, and flooding control, indicating possible ways and challengers to viable solutions in evolutions and development of the Integrated Management of Water Resources - IMWR. Integrated conceptions of floods show the risk management and socio-environmental vulnerabilities characterization to minimize life and material losses. IMWR has potential of support equal ways to urban floods problems, has axial integration capacity between hydric and land use policies. In institutional level, on Brazil case, an A articulation between municipality interests, states and national water resource policies is the main challenger. For surpass it, there are necessities of holistic studies to support and justify in front of public authorities land use policies linked to water management promoting most municipals participation in IMWR processes.

KEYWORDS: *Natural resource conservation. Use and occupation of soil. Risks. Socio-environmental vulnerability. Flooding controls.*

RESUMEN: *Las inundaciones y diluvios urbanos han sido uno de los principales problemas en las ciudades. El presente ensayo busca delimitar este fenómeno a través del abordaje metodológico de lo peligro (hazards), riesgos, vulnerabilidad socioambiental y de medidas de control, indicando los posibles caminos y retos para variables soluciones alrededor de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos – GIRH. Las concepciones integradas de las inundaciones y diluvios urbanos vienen señalando, la necesidad de una gestión de los riesgos e identificación de las vulnerabilidades socioambientales para la minimización en pérdidas de vidas y materiales. La GIRH tiene un potencial para subvencionar medios eficaces para solucionar los problemas de las inundaciones y diluvios urbanos, ya que tiene la capacidad axial de integración entre las políticas de recursos hídricos y el uso de suelo. Mientras a nivel institucional, en el caso brasileño, el principal desafío es juntar los intereses del municipio en las políticas del uso y ocupación del suelo a los planos estaduais o nacional de los recursos hídricos. Para eso, son necesarios estudios en la perspectiva global del problema, de modo a subvencionar y justificar ante las autoridades, la necesidad de las políticas del uso y ocupación del suelo vinculadas a la gestión hídrica, culminando, así, en una mayor participación de los municipios en el proceso de gerenciamiento y planeamiento para efectivizar la GIRH.*

PALABRAS-CLAVE: *Conservación de los recursos naturales. Uso y ocupación del suelo. Riesgos. Vulnerabilidad socioambiental. Medidas de control de las inundaciones.*

INTRODUÇÃO

A conservação dos recursos naturais é questão chave para o alcance da sustentabilidade, de maneira que o uso desses recursos possui diferentes estratégias de controle que se adequam ao processo produtivo na forma de insumos. De acordo com Benko e Pacqueur (2001), contrariamente a outros fatores produtivos, os recursos são, indefectivelmente, ancorados em um território. Assim, é necessário buscar uso e alocação eficiente evitando o desperdício (MOLDEN, 1997), promovendo um impacto compatível com a capacidade de suporte do ambiente, seja pela extração do recurso, seja pela entrada de rejeitos em um sistema ambiental exigindo capacidade de assimilação e depuração de efluentes.

As propriedades e características inerentes à água permitem que ela possua múltiplos usos na sociedade moderna (FRANÇA *et al.*, 2018; GALVÃO; BERMANN, 2015). Sua

ocorrência e dinâmica complexa na natureza, em interação com o contexto político e socioeconômico geram quadros diversos para concepções de modelos de gerenciamento que têm buscado, cada vez mais, a integração entre qualidade/quantidade, água superficial/água subterrânea, gestão das águas/gestão ambiental e maior participação democrática nas tomadas de decisão.

As tomadas de decisão acerca de inundações e enchentes necessitam, cada vez mais, buscar inserir a participação popular de modo descentralizado, especialmente o controle e implantações no contexto urbano. Medidas de remediação do problema geram mais custos e maior impacto social negativo. Almeida Neto e Héller (2016) colocam que medidas extremas, como a desocupação de áreas inteiras, causam desterritorialização de comunidades, causando destruição de lares e precarização de condições de vida. Além disso, Tucci (2007) aponta que, se áreas desapropriadas em função de inundações não tiverem uso e utilidade pública prática, serão ocupadas novamente.

As inundações urbanas se mostram como emergencial e necessitam da participação social quanto às decisões, principalmente por três questões fundamentais:

1. As áreas urbanas são ambientes altamente impactados pela infraestrutura física da cidade onde há inserção de diversas classes e setores sociais que, para além da segregação socioespacial, são hidrológicamente integrados por meio de bacias hidrográficas urbanas;
2. O direito à propriedade privada do solo e o aproveitamento econômico deste, incluindo a especulação imobiliária, inviabiliza tomada de decisões unilaterais pelo risco de prejuízos econômicos a determinados setores, seja por medidas de restrição de uso, seja por processo de desapropriação;
3. O déficit habitacional e a falta de acesso à renda e moradias fazem com que populações mais vulneráveis habitem áreas com maior risco de inundações, que possuem valor do solo mais baixo, potencializando perdas econômicas e de vidas.

Desse modo, medidas de controle de inundações carecem de participação das populações que são afetadas de fato ou potencialmente por inundações e intervenções do poder público, além da possível perda de serviços ambientais dos mananciais urbanos como: I. Perda da qualidade paisagística; II. Perda da qualidade da água; III. Canalizações e mudanças de curso de rios e urbanos. De todo modo, a participação equitativa permite maior possibilidade de tomada de decisões justas que não sobrecarreguem determinados setores econômicos ou classes sociais, buscando distribuir perdas, como também promover ganhos sociais de maneira equitativa, além de maior legitimação democrática da decisão tomada. Segundo Tucci (2006), inundações urbanas podem ser de dois tipos:

1. Ribeirinhas - que ocorrem com a subida do nível de água de rios, atingindo o leito maior e eventualmente o leito excepcional do rio, podendo causar perda materiais e de vidas nessas porções do sistema fluvial que foram ocupadas e modificadas.
2. Inundações causadas pela urbanização - que são provocadas por problemas ligados à falta ou mau dimensionamento da drenagem urbana aumentando o escoamento superficial, além de elevação do nível freático e encharcamento de áreas, o mau dimensionamento da capacidade de redes coletoras de esgotos e pluviais, bem como o excesso de resíduos sólidos que podem obstruir a passagem da água.

Os principais problemas de controle de ambos os tipos de inundações estão relacionados às tomadas de decisões equivocadas que são fundamentadas pela concepção fragmentada do problema, sobretudo, na falta de planejamento e adequação do uso do solo, além de aplicação de medidas de controle que não considera a totalidade da bacia ou sub-bacia hidrográfica em questão, geralmente transferindo o problema para jusante (TUCCI, 2004).

Para envolver políticas e intervenções de forma integrada em inundações é necessária a mudança de paradigma e de concepção fragmentada no controle de inundações urbanas. Os processos naturais do ciclo hidrológico ocorrem de forma sistêmica e continuam a ocorrer mesmo em ambientes altamente impactados por cidades (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004). Assim, projetos de intervenção fragmentados e pontuais, que não consideram a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e intervenção, são incompatíveis com esse fenômeno e seus mecanismos de funcionamento (PEIXOTO; SILVEIRA, 2017). Além disso, é necessária a aplicação de estudos para investigar o processo de uso e ocupação do solo nas bacias bem como suas características sociais e urbanas.

O presente ensaio busca delimitar a problemática das inundações urbanas, apontando as principais abordagens metodológicas de investigação e controle das inundações urbanas. Buscou-se, por conseguinte, articular a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos - GIRH, e a gestão municipal do uso e ocupação do solo urbano.

CONTEXTO HISTÓRICO DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E EVOLUÇÃO DA GIRH

Até meados do século XX, a visão geral acerca dos recursos naturais era de condição ilimitada, assim não havia preocupação com possíveis impactos de consequências globais. No entanto, com a percepção de que no planeta existem ecossistemas com capacidade de suporte finita, houve posicionamentos políticos antidesenvolvimentistas culminando na

publicação de um importante documento chamado “os limites do crescimento” pelo então Clube de Roma, afirmado que seria insustentável promover o desenvolvimento de países emergentes pelo risco ambiental que o planeta estaria submetido ao consumir recursos limitados para suportar esse crescimento (MEADOWS *et al.*, 1972).

No entanto, as discussões empreenderam na Conferência de Estocolmo em 1972 a possibilidade do desenvolvimento econômico de nações subdesenvolvidas e teve-se como alternativa o ecodesenvolvimento, conceito formulado por Ignacy Sachs (1981) e, por conseguinte, a captura desse conceito para a formulação do Desenvolvimento Sustentável (BRUNDTLAND; KHALID, 1987).

Foi promovido, desde então, buscar formas alternativas de gerenciamento dos recursos naturais fundamentadas pelo paradigma da sustentabilidade. Paralelo a esse processo, as discussões mundiais a respeito da água se iniciam em 1977 na Conferência de Mar Del Plata, desencadeando na Conferência Internacional da Água em Dublin em 1992, que formulou princípios gerais na tentativa de reformular e aperfeiçoar o processo de gestão das águas.

Principle 1: ‘Fresh water is a finite and vulnerable resource, essential to sustain life, development and the environment’; Principle 2: ‘Water development and management should be based on a participatory approach, involving users, planners and policymakers at all levels’; Principle 3: ‘Women play a central part in the provision, management and safeguarding of water’; Principle 4: ‘Water has an economic value in all its competing uses and should be recognized as an economic good’ (WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2003, p. 14).

Tais princípios revelam-se como uma tendência geral na implantação e reformulação do processo de gestão dos recursos hídricos em todo mundo. De acordo com o 3º princípio, a necessidade do gerenciamento da água baseado no modo participativo na construção de planos e política em vários níveis institucionais articula o planejamento e a gestão dos recursos hídricos a um modelo democrático participativo para atender os usos múltiplos e equitativos da água.

Para gerenciar tal recurso, é necessário o planejamento como “[...] um conjunto de procedimentos organizados que visa atender às demandas de água, considerando as disponibilidades restritas desse recurso” (BARTH, 1987, p. 12). Desse modo, torna-se imprescindível a projeções das demandas, quantificação do potencial hídrico, alocação de recursos para o aumento da oferta e obtenção de benefícios socioeconômicos otimizados para o planejamento em longo prazo. Assim, a gestão dos recursos hídricos é a forma pela qual se pretende equacionar soluções das questões de escassez relativa da água.

A crise da água que vem sendo enfatizada cada vez mais neste século coloca em questão os modelos de gerenciamento desse recurso. Rogers (2006) afirma que a crise da

água é real e os problemas que resultam desse quadro são estruturais e dependem, acima de tudo, de problemas na estrutura política de gestão. Tundisi (2008) põe em destaque um amplo contexto social que exerce a pressão causadora da crise: a urbanização e a demanda por abastecimento e poluição e contaminação; por consequência, a diminuição da disponibilidade hídrica, aumento da demanda e vulnerabilidade das populações aos problemas relacionados à água de uma forma geral.

O conceito de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos – GIRH - foi difundido pela Global Water Partnership – GWP, implementando os princípios da conservação hídrica da Conferência de Dublin. De acordo com Grigg (1999), a GIRH é um quadro conceitual que visa à descrição das complexidades e relações existentes entre os elementos componentes da gestão, propondo decisões de forma equalizada entre os usuários. Uso, acesso e sustentabilidade da água são objetivos principais. Assim, ocorrem mudanças e evolução do quadro institucional por meio da participação social. A GIRH implica em afastamento da segmentação dos componentes da gestão dos recursos hídricos e centralização das tomadas de decisão e busca uma abordagem mais holística entendendo os problemas hídricos de forma associada (SENRA; NASCIMENTO, 2017).

De acordo com Biswas (2008), a complexidade e dificuldade de articulação institucional é o desafio para a empregabilidade prática desse modelo. O sentido da integração passa a ser muito complexo pela relação entre princípios e elementos da GIRH. De um modo geral, se busca: eficiência econômica; distribuição regional da riqueza; qualidade ambiental; e benefícios sociais. A integração ocorre em condições de dualidade que são complementares: qualidade e quantidade, oferta e demanda, reservatórios superficiais e subterrâneos, usos múltiplos, conservação de ecossistemas, coleta, tratamento e disposição de efluentes, integração entre reservatórios, irrigação e drenagem, água e saúde, integração institucional e aplicação de tecnologias inovadoras. Em resumo, a concepção ampla da GIRH dificulta sua aplicação prática, de modo que primeiro é necessário o desenvolvimento de segurança jurídica para posicioná-la como balizadora dos diversos componentes relacionados aos recursos hídricos. No entanto, no quadro institucional dos países, a administração desses componentes é fundamentada em políticas com diferentes princípios sem planejamento comum e, portanto, fragmentadas entre si.

A aplicação efetiva da GIRH na drenagem urbana possui uma série de problemáticas: I - sobreposição da atuação do órgão de planejamento do uso do solo, II - dificuldade de integração interinstitucional e dos dispositivos legais; III - conflito e diversidade de interesses empresariais, coletivo-sociais e estatais não só em torno da água, mas de outros recursos relacionados a ela, como o solo e seus atributos locacionais.

Apesar de tudo, atualmente, a GIRH é o modelo mais apropriado por permitir a integração entre os componentes da gestão dos recursos hídricos, sendo compatível com a

natureza dinâmica da água em seu meio natural e em sua condição como recurso e insumo produtivo. Além disso, diante das incertezas, principalmente causadas pelas mudanças de demanda e a multiplicidade de fatores que afetam direta e indiretamente a água, há necessidade de políticas que minimizem os riscos e melhorem o entendimento destes (UNESCO, 2012).

A PROBLEMÁTICA DAS INUNDAÇÕES NO MEIO URBANO

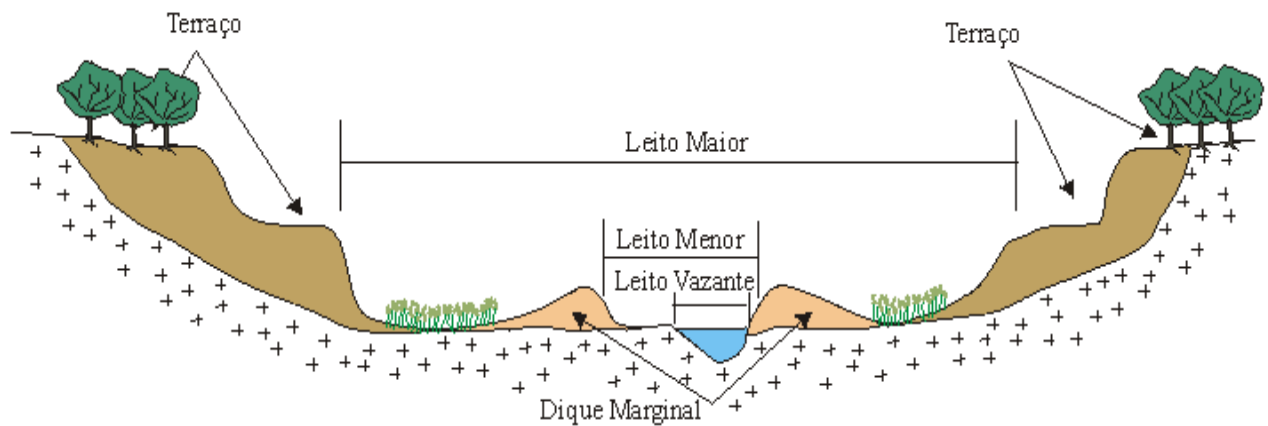
Inundações ribeirinhas

Os mecanismos de funcionamento das inundações ribeirinhas estão, sobretudo, submetidos à dinâmica do sistema fluvial e unidades de relevo que dividem esse mesmo sistema. A diversidade geomorfológica em um sistema fluvial pode ser identificada em uma variedade de escalas espaciais, desde uma área específica ou em toda a bacia (CHURCH; MARK, 1980). Press *et al.* (2006) definiram como planície fluvial a área plana adjacente ao nível do topo do canal que se estende em ambos os lados do rio, limitada também por patamares mais elevados à medida que se afasta do rio, coincidindo por vezes com terraços fluviais.

De acordo com Chistofolletti (1980), Olímpio e Zanella (2012), a planície fluvial recebe água de forma periódica e sazonal, pelo menos uma vez a cada ano e funciona como área de espraiamento da água do rio. Com isso, as inundações ribeirinhas são características naturais desses compartimentos. Elas ocorrem de forma habitual já que fazem parte do comportamento hidrometeorológico de uma região (ALMEIDA; CARVALHO, 2010),

Segundo Christofolletti (1980), a planície fluvial vai desde o dique marginal até a base do terraço fluvial (leito maior), sendo ela área de descarga do canal principal durante o período das cheias, com o aumento do volume de água e sedimentos. As áreas que são ocupadas por água durante eventos de cheias excepcionais do rio atingem níveis para além das planícies fluviais, inundando o leito excepcional do rio que corresponde ao terraço (Figura 1).

De acordo com Roy e Sinha (2018), na planície fluvial pode ocorrer auto-ajuste do sistema fluvial, em função da alteração da sua dinâmica e morfologia, assim a área da planície fluvial pode aumentar com esses ajustes no sistema. Portanto, o sistema fluvial é articulado territorialmente às áreas bem maiores que o canal fluvial, ou seja, à área ocupada pelo rio, e como tanto a planície fluvial como o terraço fluvial não são ocupados por água boa parte do ano, as pessoas ocupam essas áreas, que são de alto risco de inundação.

Figura 1 - Sistemas Fluviais

Fonte: Guerra, (1993, p. 446).

Grandes cidades estão posicionadas próximas ou mesmo parcialmente inseridas sobre sistemas fluviais. Para Chin (2013), a urbanização modifica os sistemas fluviais mais drasticamente do que qualquer outra atividade e a natureza deste processo são mudanças no regime hidrológico-sedimentológico. De acordo com Guerra e Marçal (2010), as intervenções mais frequentes para esses problemas são: barragem e canalização dos rios urbanos, oferecendo soluções pouco viáveis economicamente e que não resolvem definitivamente o problema.

As características morfométricas da bacia, como tamanho e forma da área de drenagem e comprimento do canal, além dos tipos hidrológicos dos solos, evolução do relevo e contexto ambiental do rio, são condições naturais para a susceptibilidade natural à inundação (SAUER, 1983).

Diante disso, os fenômenos de inundações são identificados como a elevação do nível de água do rio, de modo que, ocorre a submersão de áreas do leito maior, ou seja, a planície fluvial que, por se compor como compartimento de espraiamento natural das águas, cumpre seu papel de amortecer o efeito da inundação a jusante, enquanto as enchentes ocorrem quando a conta máxima do canal do rio é atingida pelo nível de água (GOERL; KOBAYAMA, 2005; SOUZA, 2005). Tanto as inundações como as enchentes são frequentemente associados a fatores de estragos e perdas materiais e humanas, pois a ocupação da planície fluvial e/ou do canal do rio sujeita moradores a conviverem constantemente com esses problemas. Dessa forma, Almeida e Carvalho (2010, p. 36) enfatizam que:

Nos espaços urbanizados, as inundações estão entre as ameaças naturais que mais causam danos humanos e materiais. Os problemas causados por esses fenômenos estão fortemente correlacionados a uma histórica posição de arrogância por parte da sociedade quanto à dinâmica “natural” da bacia hidrográfica, mas também de “inocência” ou de inadvertência no que concerne à ocupação das margens dos rios por populações marginalizadas

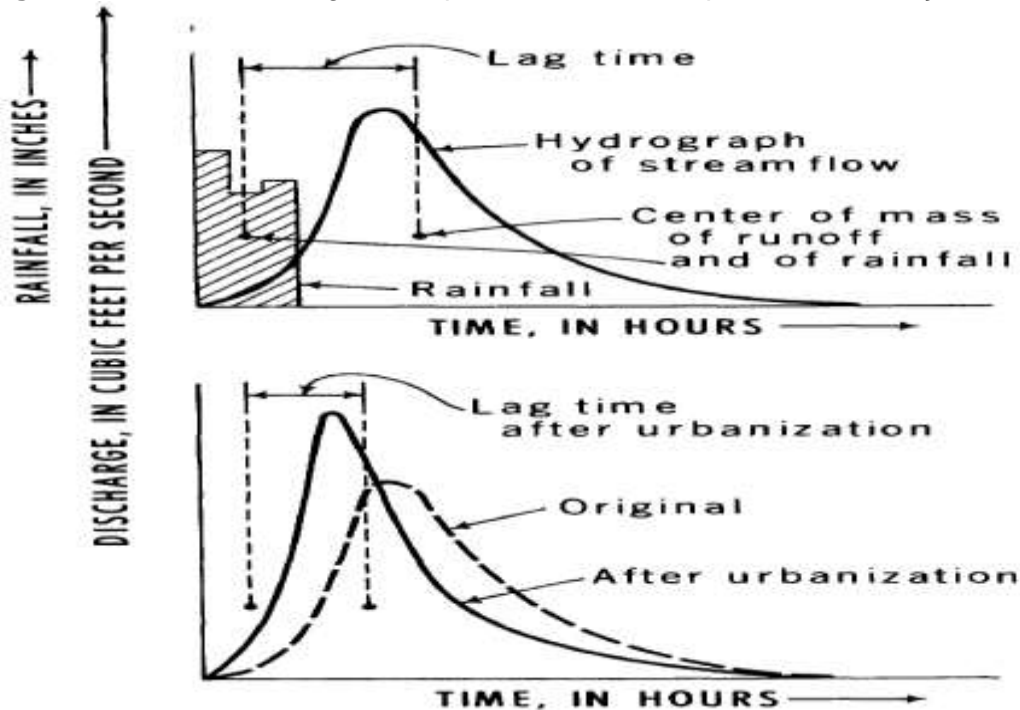
(‘marginais’, tanto do ponto de vista da localização da moradia, quanto do ponto de vista socioeconômico) da sociedade urbano-industrial.

Essa problemática está intimamente ligada aos fatores que influenciam e constroem o espaço urbano. O recurso mais demandado na área urbana é o solo, quanto ao uso e ocupação residencial, comercial ou industrial como valor especulativo. Ocorre, então, uma pressão que demanda novos espaços de ocupação e, através da ineficiência de fiscalização e controle das instituições, aumentam as condições de riscos de perdas materiais e humanas.

Inundações causadas pela impermeabilização do solo

As causas desse tipo de inundação estão ligadas à modificação da superfície do solo, causando mudanças hidrológicas diversas (PEIXOTO; STUDART; CAMPOS, 2016). A impermeabilização do solo, por exemplo, diminui a taxa de infiltração e aumenta, por consequência, o escoamento superficial. Leopold (1968) afirma que a taxa de escoamento superficial pode aumentar cerca de seis vezes os valores de vazão média de pré-desenvolvimento, ou seja, a vazão em condições anteriores à ocupação urbana (Figura 2).

Figura 2 – União de hidrografias hipotéticas antes e depois da urbanização



Fonte: Leopold (1968).

A hidrógrafa mostra claramente que o Δt entre o centro de massa da precipitação e do escoamento *runoff* diminui, ou seja, a resposta à precipitação é mais rápida e mais intensa.

Tal processo gera o que Tucci (2002) abrange como: inundação devido à urbanização, arguindo que esse tipo de inundação ocorre em bacias ou sub-bacias médias a pequena com áreas < 500 quilômetros quadrados. A impermeabilização do solo urbano é causada por estruturas físicas como pavimentos, calçadas, telhados e solos compactados por atividades diversas que causam menor taxa de infiltração da água no solo da área urbana, aumentando assim o escoamento superficial. Isso gera uma maior pressão sobre as obras de drenagem e, onde não há estrutura de drenagem, a inundação tende a ser mais problemática. De fato, o efeito da impermeabilização do solo é inversamente proporcional ao tamanho das bacias.

A urbanização é fundamentalmente processual. De acordo com Araújo (2012), trata-se de um duplo processo de implosão – explosão da cidade. Lefebvre (2001 apud ARAÚJO, 2012) entende o urbano como uma “simultaneidade”, uma forma social que se afirma reproduz-se no espaço e no tempo, enquanto a cidade é um objeto espacial que ocupa um lugar e uma situação, é ela o resultado da projeção da sociedade urbana sobre um local. A cidade, portanto, refere-se à estrutura física do urbano, desse modo, está muito mais ligada à causa imediata das inundações.

Enquanto a cidade avança horizontalmente, precisa atender uma série de condições para a salubridade do ambiente. Esse controle é definido pelo saneamento ambiental, que para além do fornecimento de abastecimento de água, coleta de resíduos sólidos e esgotamento sanitário, deve atender ao controle de inundações por meio de uma drenagem adequada.

A implementação de controle das inundações é definida pela técnica que deve ser compatível com as condições ambientais e com o uso e a cobertura do solo urbano. A técnica no espaço possui o objetivo de agregar atributos locacionais visando à reprodução de capital (SANTOS, 1995). Ao promover a construção de vias asfaltadas, calçadas para circulação, lotes comerciais, residenciais e indústrias, além de uma racionalidade de produção e de integração entre fatores e agentes produtivos próprios do meio urbano, deve haver implantação de meios de controle de drenagem para compatibilizar o atual uso e cobertura do solo com o escoamento superficial gerado, produzindo também projeções futuras de desenvolvimento na área e propondo futuros planos de controle. Para isso, o plano de Drenagem Urbana deve ser discutido pela sociedade e implantado atendendo essas prerrogativas (TUCCI, 2007).

A diminuição da infiltração efetiva no solo de uma bacia hidrográfica gera vazão de escoamento superficial *runoff* que se caracteriza pelo escoamento até um canal fluvial qualquer (VILLELA; MATTOS, 1975), podendo assim contribuir também com inunções ribeirinhas jusantes, sobretudo quanto o formato da bacia hidrográfica contribui para um pico de inundação em determinado local.

As características físicas naturais da bacia são condições para que haja a inundação. De acordo com Santos (2012, p. 188), “As inundações ocorrem, em geral, devido a condicionantes do meio físico, que podem ser potencializados pela ocupação das bacias”. Os impactos hidrológicos são gerados a partir de tipos de ocupação do solo que podem causar maior ou menor taxa de impermeabilização, passando essa a ser determinante na dinâmica hidrológica da bacia.

Mensurar a área impermeável é a variável trivial para subsidiar planos de drenagem urbana. Baseado em características de bacias urbanas do EUA, na obra de Leopold (1968) há a mensuração da taxa de impermeabilização para áreas residenciais de acordo com o tamanho do lote da propriedade (Figura 3).

Figura 3 - Taxa de Impermeabilização por tamanho de lote

(m ²)	(% de impermeabilização)
<557,4	80
557,4 ≥ 1393,5	40
>15,000	25

Fonte: Leopold (1968).

Outras formas de mensurar indiretamente a taxa de impermeabilização foram trabalhadas por Tucci (2004), que demonstra uma relação entre a impermeabilização do solo e a densidade habitacional para macrobacias urbanas > 2 quilômetros quadrados com dados de bacias urbanas nas cidades de Curitiba, São Paulo e Porto Alegre (Equação - 1).

$$AI = 0,49.DH \quad \text{Eq(1)}$$

Onde AI é a área impermeável (%) e DH é a densidade habitacional em hab/ha (habitantes por hectare). Esta equação é válida até 120 hab/ha, quando a curva tende a ser assintótica ao valor de 65%. Ela indica que uma pessoa tende a impermeabilizar em torno de 49 metros quadrados (TUCCI, 2004).

Quantificações de uma forma direta das áreas impermeáveis têm sido empregadas por meio de técnicas de classificação de imagens orbitais ou fotografias aéreas. Gutierrez et al. (2011) utilizaram uma classificação supervisionada manual onde as classes são distinguidas via vetorização pelo operador, em estudo temporal para classificação de imagens Landsat 5 – TM, que possui resolução espacial de 30 metros, enquanto Reis, Pereira Filho e Silveira (2011) aplicaram esse mesmo método de classificação para as imagens IKONOS que tem um metro de resolução especial na banda pancromática para quantificar a impermeabilização na perspectiva intraurbana, comparando com valores de densidade demográfica numa sub-bacia hidrográfica na cidade de Santa Maria/RS. Nunes e Fiori (2008) mensurou a impermeabilização do solo conforme os tipos de ocupação, utilizando a

malha municipal em formato vetorial ao definir classes para o modelo hidrológico. Também para esse fim, Dans et al. (2013) mensuraram níveis de impermeabilização do solo por meio de imagem de altíssima resolução espacial IKONOS datada de 2003, com um metro de resolução.

Esses são estudos que evidenciaram a importância do efeito da impermeabilização do solo como o principal fator hidrológico decorrente da estrutura física da cidade. Portanto, para esses tipos de inundação o controle de áreas impermeáveis é a principal forma de prevenção.

Metodologias de controle e prevenção de inundações urbanas

Desastres naturais geram situações de perigo (*hazards*), e são fenômenos determinados por fatores biofísicos (INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION, 2002). No caso de inundações, os fatores são de natureza meteorológica e hidrológica.

Os atributos utilizados para a obtenção da cartografia de risco podem ser muito variados, como por exemplo: hidroclimáticos (magnitude e frequência de chuvas, fenômenos climáticos como El Niño), hidrológicos (hidráulica fluvial, ou correntes geradas por ondas e marés) geológico-geomorfológico (substrato geológico, morfometria da bacia de drenagem, solo e cobertura vegetal), em associação com atributos antrópicos (uso e ocupação, presença de medidas estruturais etc.) (MENDONÇA, 2004, p. 142).

Assim, podem ser entendidos também como susceptibilidade natural ocorrentes onde condições ambientais diferentes proporcionam fenômenos hidrológicos distintos. O perigo (*hazard*) também pode ser potencializado por efeitos antropogênicos. O caso das inundações está associado às condições hidroclimáticas, hidrológicas e geológico-geomorfológicas e potencializados pelas modificações relacionadas a ocupações ou modificações na estrutura do sistema fluvial. A exemplo disso, Lyu *et al.* (2018) consideram que as inundações ocorridas no sudeste da China em 1998 e em 2016, que juntas afetaram mais de 132.000 pessoas e deixaram 1.986 mortos, ocorreram por conta de dois fatores de condições climáticas favorecidas pelos fortes fenômenos de El Niño no mesmo período, forte ocupação dos sistemas com cidades e culturas agrícolas.

Os perigos (*hazards*) que são causados por condições naturais são processos de grande magnitude ligados à dinâmica natural da terra. Esses desastres não começaram com o surgimento da humanidade e a sociedade precisa aprender a conviver e aplicar as lições apreendidas com a ocorrência desses desastres para a resiliência da sociedade (WOOD, 2012).

A delimitação geográfica potencial da inundação é o procedimento inicial, ou seja, o mapeamento de áreas que podem ser afetadas. A magnitude de perdas materiais e de vidas ocasionadas pelo fenômeno nessas áreas está ligada à vulnerabilidade (KALANTARI *et al.*, 2014). Assim, a potencial perda material e de vidas é evidentemente ligada ao grau e tipo de ocupação.

De acordo com Pedrosa e Pereira (2006), é importante a fase de inventariar as áreas de ocorrência de inundações urbanas e ao georreferenciá-las realiza-se o diagnóstico e explicação das causas preponderantes no agravamento do grau de risco em cada local. Como forma de aplicação desse tipo de metodologia, Bhuiyan e Al Baky (2014) realizaram o mapeamento do perigo (*hazard*) de inundações em Bangladesh utilizando modelo digital do terreno e o mapeamento da vulnerabilidade por meio de classificação de imagem orbital Landsat - 8, sensor OLI, produzindo modelos de risco diferenciados para culturas agrícolas e para residências.

As problemáticas das inundações no espaço urbano também são articuladas com a vulnerabilidade das populações residentes. Nas cidades a atuação dos processos físico-ambientais em interação com a técnica, e a segregação socioespacial e cultural, formam um alto grau de complexidade na paisagem (SANTOS, 2012). Isso forma tipos de uso e ocupação do solo, condições arquitetônicas das residências, quantidade de moradores por residências, renda e escolaridade da população, dentre outros fatores que apontam diferentes graus de vulnerabilidade social.

De acordo com Deschamps (2004), existe tendência de grupos mais vulneráveis residirem em áreas sujeitas a maiores riscos. Por exemplo, aglomerados subnormais associados a áreas de maior risco geram condições de alto grau de vulnerabilidade socioambiental.

A tendência de maior vulnerabilidade socioambiental de populações condiciona a maior dificuldade de recuperação dos efeitos das inundações que, nesse caso, geralmente se prolonga para além do evento em forma de doenças e contaminação. Segundo Freire, Bonfim e Natenzon (2014, p. 3761):

[...] a conexão do conceito de vulnerabilidade com a saúde coletiva demonstra que, em condições de vulnerabilidade, não somente são maiores os riscos de sofrer doenças, lesões e óbitos com os desastres, mas que seus efeitos vão para além dos imediatos (óbitos e doenças), prolongando-se no tempo e cronificando precárias condições de vida e saúde.

Assim, Zanela *et al.* (2009) e Rebelo (2010) colocam que a vulnerabilidade está relacionada a grupos vulneráveis, para a noção de risco é fundamental o desenvolvimento do estudo de vulnerabilidade socioambiental.

Para os diferentes critérios de classificação de vulnerabilidade utiliza-se frequentemente a ponderação destes através do índice de desenvolvimento humano (IDH), como realizado por Deschamps (2004) (Equação - 1).

$$\text{Índice} = \frac{Vo - Vu(\text{min})}{Vu(\text{max}) - Vu(\text{min})} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde Vo é o valor de IDH observado no setor (em %); $Vu(\text{min})$ é o menor valor de IDH no universo de análise em (%) e $Vu(\text{Max})$ é o maior valor de IDH no universo de análise.

De acordo com Zanela *et al.* (2009, p. 200), essa aplicação transforma os dados em índices variando de 0 a 1 que “[...] expressa a razão entre o valor observado para o setor e a amplitude total do indicador analisado”. Os índices de menores valores expressam alta vulnerabilidade, enquanto os índices de maiores valores correspondem a baixa vulnerabilidade.

O mapeamento da vulnerabilidade socioambiental é colocado por Freitas e Cunha (2013, p. 17) como aplicação de geotecnologias e representação de aspectos físicos e socioeconômicos, para a prevenção, mitigação e enfrentamento de manifestações de riscos “[...] para que se possa falar de risco é necessário que haja também vulnerabilidade, ou seja, que os processos eventualmente perigosos [...]”.

Ao identificar essa condição, é necessário aplicar medidas mitigadoras a partir de medidas conservacionistas e de curto, médio e longo prazo, sendo essencial o planejamento, visando objetivos de minimizar os riscos nos sistemas ambientais já ocupados, bem como um robusto aparato político e institucional de proteção aos sistemas ainda não impactados. Albuquerque e Medeiros (2017) identificaram, em bacia hidrográfica na Região Metropolitana de Fortaleza, uma intensa pressão antropogênica sobre os sistemas ambientais, com destaque especial para as planícies fluviais, lacustres e litorânea, por consequência áreas de maior vulnerabilidade socioambiental da bacia. Esse contexto é evidente em outras áreas metropolitanas do país. Condições ambientais específicas podem gerar maior risco de inundações, assim é indispensável considerar os compartimentos do sistema fluvial como áreas de rígido controle socioambiental.

Ao identificar a natureza complexa das inundações, coloca-se em evidência a necessidade de articulação da gestão dos recursos hídricos com o uso do solo na bacia hidrográfica no que tange aos efeitos quantitativos das inundações urbanas. As melhores estratégias de lidar com esse fenômeno são medidas preventivas para atuar sobre o risco eminente e a mitigação do perigo, visando diminuição dos prejuízos e recuperação da área afetada (TUCCI, 2007).

As medidas de controle são de dois tipos: medidas estruturais e medidas não estruturais. As primeiras são intervenções diretas que modificam o sistema fluvial e evitam os prejuízos decorrentes das enchentes, o outro tipo são medidas voltadas para a melhor convivência da população com as enchentes e busca tanto diminuir os prejuízos materiais como humanos das inundações.

Esses dois grupos de medidas põem em contraponto dois modelos de drenagem, um sanitaria e um higienista, o qual tem por princípio expulsar as águas das cidades, indiferente de serem águas pluviais ou esgotos, obtendo a falsa impressão de “problema resolvido”. Esse modelo foi muito comum em todo o mundo até os anos 1960. Contudo, medidas estruturais fortemente associadas ao modelo sanitaria e higienista constitui o conjunto de soluções mais utilizadas nas cidades brasileiras, todavia também representam um grande custo para a sociedade. O custo de canais revestidos, que são os mais utilizados, é de 1,7 milhões de reais/km. Em Porto Alegre, para canais de pequena largura, o custo atingiu 50,0 milhões de reais/km (TUCCI, 1997).

Surgiram, nos países desenvolvidos, nas últimas décadas, outros modelos de drenagem: *Low Impact Development* (LID), nos EUA e Canadá; *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), no Reino Unido; *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), na Austrália; e *Low Impact Urban Design and Development* (LIUDD), na Nova Zelândia (POLETO, 2011). São modelos fundamentados na mínima utilização de intervenções estruturais, priorizando medidas não estruturais, e envolvem: parcelamento do uso do solo; zoneamento ambiental; previsão de alerta; seguros de enchentes; e medidas restritivas de uso do solo.

ASPECTOS INSTITUCIONAIS DE CONTROLE DO USO DO SOLO PARA PREVENÇÃO DAS INUNDAÇÕES

As inundações urbanas são problemas que afligem várias cidades, principalmente em países subdesenvolvidos. A perspectiva aqui trabalhada promove diálogo entre políticas de uso e ocupação do solo e a Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH, buscando desenvolver conexões para a efetividade da GIRH no controle, mitigação e prevenção de inundações e seus efeitos. A Lei n. 9.433/97, PNRH em seu Art. 2º tem como objetivo “[...] a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais” (BRASIL, 1997).

Existe um conjunto de instrumentos legais a serem aplicados como medidas preventivas aos impactos causados por inundações. Um dos aspectos mais importantes desses instrumentos é o planejamento e gestão do uso do solo. As políticas de uso e ocupação do solo, de acordo com o Art. 30 da Constituição Federal/1988, são de

competência legal dos municípios, que, portanto, tratam de estabelecer a competência e diretrizes na atuação para ordenar territorialmente o espaço municipal (BRASIL, 1998).

O Estatuto da Cidade, Lei n. 10.257/2001, regulamenta e fornece diretrizes às políticas urbanas através de vários instrumentos. O Art. n. 4 da referida lei enumera os instrumentos de planejamento e jurídicos da política urbana, dentre eles: o I - Plano Diretor; II - Disciplinamento do uso e ocupação do solo; o III - Zoneamento ambiental; VI – Estudo prévio de Impacto Ambiental (EIA) e Estudo prévio de Impacto de Vizinhança (EIV). Tais instrumentos aplicam-se a uma série de medidas restritivas, de disciplinamento e planejamento do processo de expansão física da cidade (BRASIL, 2001).

Entende-se dessa forma que a integração institucional e jurídica é uma condição para articulação de órgãos e diferentes instâncias governamentais para a gestão do risco de inundações urbanas. No entanto, um importante desafio é a articulação dos interesses do município nas políticas de uso e ocupação do solo aos Planos Estaduais de Recursos Hídricos.

A GIRH é o conceito axial para integração jurídica e institucional tão cara ao controle de inundações. Segundo Barth (1987), essa articulação pode ocorrer em decorrência de normas legais, convênios entre organismos públicos ou no próprio sistema nacional e regional, referentes a planejamento, administração, informações, capacitação e desenvolvimento tecnológico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A GIRH possui potencial de fundamentar meios mais eficazes de gerenciamento dos recursos hídricos. Sobretudo na busca de resolução dos problemas das inundações urbanas, que são extremamente complexos, a GIRH possui a capacidade agir de forma integradora entre políticas para minimização das inundações urbanas.

As inundações urbanas podem ser definidas como inundações ribeirinhas e inundações causadas pela impermeabilização do solo. Elas possuem mecanismos de funcionamento distintos, porém ambas devem ser abordadas tendo a bacia ou sub-bacia hidrográfica como unidade territorial de intervenção e planejamento. Dentro da evolução de metodologias para lidar com os riscos de inundações tem-se enfatizado a evolução dos modelos de contenção e minimização dos impactos nos países desenvolvidos que foram desenvolvidos priorizando medidas não estruturais, o mais conhecido é o *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS).

É necessário promover estudos que analisem características socioeconômicas das comunidades que convivem com os riscos. Tal dimensão de análise se processa como de grande importância na produção de subsídios contribuindo para o planejamento urbano e

gerenciamento dos riscos de inundações. A vulnerabilidade socioambiental articula a dimensão ambiental com a capacidade de resposta que a população possui às inundações, assim as ações mitigadoras podem atuar no meio buscando a diminuição da vulnerabilidade das populações constantemente afetadas.

Percebe-se a importância do gerenciamento dos riscos das inundações urbanas atendendo os princípios da GIRH. Para além da Lei 9.433/97, a importância exercida pelo uso e ocupação do solo dentro de uma bacia hidrográfica urbanizada deve levar em consideração a lei 10.257/2001 que dá diretrizes às políticas urbanas e aplicação de instrumentos para a gestão territorial municipal.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. L. S.; MEDEIROS, C. N. Vulnerabilidade socioambiental em bacias hidrográficas no setor leste metropolitano de Fortaleza, Ceará. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 11, n. 1, p. 109-126, 2017.

ALMEIDA NETO, J. D.; HELLER, L. Which is riskier: life on the floodplain or in housing imposed from above? The case of flood-prone areas in Rio Branco, Acre, Brazil. **Environment & Urbanization**, London, v. 28, n. 1, p. 169-182, 2016.

ALMEIDA, L. Q.; CARVALHO, P. F. Riscos naturais e sítio urbano: inundações na bacia hidrográfica do Rio Maranguapinho, região metropolitana de Fortaleza, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.11, n. 2, p. 35-49, 2010.

ARAÚJO, J. A. Sobre a cidade e o urbano em Henri Lefebvre. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 31, p. 133-142, 2012.

BARTH, F. T. Fundamentos para a gestão dos recursos hídricos. In: BARTH, F. T. et al. **Modelos para o gerenciamento dos recursos hídricos**. São Paulo: Nobel ABRH, 1987. p. 12-23.

BENKO, G.; PECQUEUR, B. Os recursos de território e os territórios de recursos. **Geosul**, Florianópolis, v. 16, n. 32, p. 31-50, 2001.

BHUIYAN, S. R.; AL BAKY, A. Digital elevation based flood hazard and vulnerability study at various return period sin Sirajganj Sadar Upazila, Bangladesh. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, Amsterdam, v. 10, p. 48-58, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.06.001>. Acesso em: 15 jun. 2018.

BISWAS, A. K. Integrated water resources management: is it working? **International Journal of Water Resources Development**, Abingdon, v. 24, n. 1, p. 5-22, 2008.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. 18. ed. São Paulo: Saraiva, 1998.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm. Acesso em: 15 jun. 2018.

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, [...]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm Acesso em: 15 jun. 2018.

BRUNDTLAND, G. H.; KHALID, M. **Report of the world commission on environment and development: our common future**. New York: United Nation, 1987.

CHIN, A. Reference module in earth systems and environmental sciences treatise on geomorphology. **Urbanization and River Channels**, Cambridge, v. 9, p. 809-817, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHURCH, M; MARK, D. M. On size and scale in geomorphology. **Progress in Physical Geography**, London, v. 4, n. 3, p. 342-390, 1980.

DANS, J. et. al. Mapping impervious surface change from remote sensing for hydrological modeling. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, n. 485, p. 84-95, 2013.

DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade socioambiental na região metropolitana de Curitiba**. 2004. 192 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FRANÇA, J. M. B. et. al. Panorama das outorgas de uso dos recursos hídricos no estado do Ceará no período de estiagem 2009-2017. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 210-217, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i2.29118>. Acesso em: 15 ago. 2018.

FREIRE, N. C. F.; BONFIM, C. V.; NATENZON, C. E. Vulnerabilidade socioambiental, inundações e repercussões na Saúde em regiões periféricas: o caso de Alagoas, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 9, p. 3755-3762, 2014.

FREITAS, M. I. C.; CUNHA, L. Cartografia da vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil. **Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 15-31, 2013.

GALVÃO, J.; BERMANN, C. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 29, n. 84, p. 43-68, maio/ago. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142015000200004>. Acesso em: 15 ago. 2018.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais [...]** Porto Alegre: ABRH, 2005. p. 213 -224.

GRIGG, N. S. Integrated water resources management: who should lead, who should pay? **Journal of American Water Resources Association**, Herndon, v. 35, n. 3, p. 527-534, 1999.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

GUERRA, A. T.; MARÇAL, M. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

GUTIERREZ, L. A. R. et. al. Mapeamento temporal dos índices: área de superfície impermeável e escoamento superficial da área urbanizada de Campo Grande/MS. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 37, p. 269-288, 2011.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION - ISDR. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. Geneva: United Nation, 2002.

KALANTARI, Z. et al. A method for mapping flood hazard along roads. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 133, p. 69-77, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.032>. Acesso em: 15 jun. 2018.

LEOPOLD, L. B. **Hydrology for urban planning: a guide book on the hydrologic effects on urban land use**. Reston: USGS, 1968.

LYU, H. M. et al. Flooding hazards across southern China and prospective sustainability measures. **Sustainability**, New York, v. 10, p. 1-18, 2018.

- MEADOWS, D. H. et al. **Limits of growth**. New York: Universe Books, 1972.
- MENDONÇA, F. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 139-148, 2004.
- MOLDEN, D. **Accounting for water use and productivity**. Colombo: International Irrigation Management Institute, 1997.
- NUNES, F. G.; FIORI, A. P. Análise da impermeabilização dos solos e aumento dos picos de vazão de cheias em bacias hidrográficas urbanas. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 62-63, p. 47-60, 2008.
- OLÍMPIO, J. L. S.; ZANELLA, M. E. Emprego das tecnologias da geoinformação na determinação das vulnerabilidades natural e ambiental do município de Fortaleza/Ce. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 64/1, p. 1-14, fev. 2012.
- PAN, X. et al. A variable precision rough set approach to the remote sensing land use/cover classification. **Computers & Geosciences**, New York, v. 36, n. 12, p. 1466-1473, 2010.
- PEDROSA, A. S.; PEREIRA, A. P. A. Diagnostico dos factores condicionantes da susceptibilidade face ao risco de inundação urbana no concelho de Matosinhos. **Territorium**, Coimbra, n. 13, v. 1, p. 35-51, 2006. Disponível em: <http://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/3281>. Acesso em: 26 ago. 2018.
- PEIXOTO, F. S.; SILVEIRA, R. N. M. C. Bacia hidrográfica: tendências e perspectivas da aplicabilidade no meio urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 3, p. 840-843, 2017.
- PEIXOTO, F. S.; STUDART, T. M. de C., CAMPOS, J. N. B. Gestão das águas urbanas: questões e integração entre legislações pertinentes. **Revista de Gestão de Águas da América Latinan**, Campo Grande, v. 13, n. 2, p. 160-174, 2016.
- POLETO, C. SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): uma contextualização histórica. **Revista Thema**, Pelotas, n. 8, v. 1, p. 1-12, 2011.
- PRESS, F. et al. **Para entender a Terra**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- REBELO, F. **Geografia física e riscos naturais**. Coimbra: Imprensa da Universidade, 2010.
- REIS, J. T.; PEREIRA FILHO, W.; SILVEIRA, A. L. L. Estimativa entre densidade habitacional e áreas impermeáveis na região urbana da sub-bacia hidrográfica do arrio Cadena em Santa Maria. **Ciência e Natureza**, Santa Maria, v. 1. n. 33, p. 145-160, 2011.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. D.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia da paisagem**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: EDUFC, 2004.
- ROGERS, P. P. Water governance, water security and water sustainability. In: ROGERS, P. P. et al. (ed.) **Water crisis**: myth or reality? London: Fundación Marcelino Botín: Taylor & Francis, 2006. p. 3-36.
- ROY, N. G; SINHA, R. Integrating channel form and processes in the Gangetic plains rivers: Implications for geomorphic diversity. **Geomorphology**, London, v. 302, p. 46-61, fev. 2018.
- SACHES, I. **Ecodesenvolvimento**: crescer sem destruir. São Paulo: Vértice, 1981.
- SANTOS, K. R. Inundações urbanas: um passeio pela literatura. **Elisée**, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 177-190, 2012.
- SANTOS, M. **Espaço e método**. São Paulo: EDUSP, 1995.
- SAUER, V. B. et al. Flood characteristics of urban watersheds in the United States. Washington: USGPO, 1983.

- SENRA, J. B.; NASCIMENTO, N. O. Após 20 anos da lei das águas como anda a gestão integrada de recursos hídricos do Brasil, no âmbito das políticas e planos nacionais setoriais? **REGA**, Porto Alegre, v. 14, n. 16, p. 1-18, 2017.
- SOUZA, C. R. G. Susceptibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, n. 6, v. 1, p. 45-61, 2005.
- TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. *In*: REBOLÇAS, A. C.; BRAGA, B. TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 399-432.
- TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, 2002.
- TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 59-73, 2004.
- TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **Revista de Gestión del Agua de América Latina**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 59-73, 2004.
- TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.
- TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepções. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.
- TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, p. 7-16, 2008.
- UNESCO. Manager water under uncertainty and risk: part 2. *In*: UNESCO. **The United Nations World Water Development Report 4: managing water under uncertainty and risk: executive summary**. Paris: UNESCO, 2012. p. 39-55.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.
- WOOD, M. M. Hazards without disasters. **Science**, Washington, v. 32, n. 601, p. 201, 2012.
- WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME – WWAP. (United Nations). **Water for people, water for life: a joint report by the twenty-three un agencies concerned with freshwater**. New York: UNESCO, 2003.
- ZANELA, M. E. et al. Vulnerabilidade socioambiental de Fortaleza. *In*: COSTA, M. C.; DANTAS, E. W. C. (org.). **Vulnerabilidade socioambiental na região metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: Edições UFC, 2009. p. 191-216.

Recebido: setembro de 2018.

Aceito: dezembro de 2018.