



## O PAPEL DA GEOMORFOLOGIA FLUVIAL NO GERENCIAMENTO DE INUNDAÇÕES

Claudia Rakel Pena Pereira <sup>1</sup>  
Sandra Baptista da Cunha <sup>2</sup>

### RESUMO

A inundaç o   um processo natural intensificado pela urbaniza o que acarreta diversas complica es para as cidades, s o recorrentes e causam danos e preju zos   popula o. Estudos geomorfol gicos podem apresentar abordagens para preven o de inunda es, manuten o de rios, restaura o da v rzea, entre outros. O Gerenciamento de Inunda es deve apresentar estrat gias, medidas e pol ticas que objetivem gerenciar o risco de inunda es e orientar o desenvolvimento dos sistemas de drenagem. Desse modo, este artigo tem como objetivo realizar uma revis o conceitual sobre a contribui o dos estudos geomorfol gicos para o gerenciamento de inunda es. Realizou-se uma revis o de literatura sobre o tema, geomorfologia fluvial e gerenciamento de inunda es, a fim de encontrar novas linhas de investiga o, ganhar perspectivas metodol gicas e identificar recomenda es para investiga es futuras. A aplicabilidade dos estudos geomorfol gicos visando identificar e avaliar  reas de risco para o planejamento urbano e gerenciamento de inunda es vem sendo cada vez mais citada e aceita. Esse desenvolvimento t cnico e cient fico est  em grande parte relacionado   pr pria necessidade de conhecimento dos processos relacionados aos desastres em vista da intensidade dos danos e preju zos sociais e econ micos causados.

**Palavras-chave:** Geomorfologia fluvial, Inunda es urbanas, Gerenciamento de inunda es.

### ABSTRACT

Flooding is a natural process intensified by urbanization that causes several complications for cities, is recurrent and causes damages and losses to the population. Geomorphological studies can present approaches to flood prevention, river maintenance, floodplain restoration, among others. Flood Management must present strategies, measures and policies that aim to manage the risk of floods and guide the development of drainage systems. Thus, this article aims to carry out a conceptual review on the contribution of geomorphological studies to flood management. A literature review was carried out on the topic, fluvial geomorphology and flood management, in order to find new lines of investigation, gain methodological perspectives and identify recommendations for future investigations. The applicability of geomorphological studies to identify and assess risk areas for urban planning and flood management has been increasingly cited and accepted. This technical and scientific development is largely related to the very need for knowledge of processes related to disasters in view of the intensity of the social and economic damages and losses caused.

**Keywords:** Fluvial geomorphology, Urban floods, Flood management.

<sup>1</sup> Doutoranda do Programa de P s-Gradua o em Geografia da Universidade Federal Fluminense- UFF, [claudiarakel@id.uff.br](mailto:claudiarakel@id.uff.br);

<sup>2</sup> Professora Doutora do Programa de P s-Gradua o em Geografia da Universidade Federal Fluminense-UFF, [sandracunha51@gmail.com](mailto:sandracunha51@gmail.com);



## INTRODUÇÃO

O adensamento urbano e os graves problemas da falta de moradia das camadas baixas da população vêm se agravando e, hoje, processos de risco associados à dinâmica fluvial têm gerado gastos e preocupações à gestão pública. De acordo com Ayog *et al.* (2017), as inundações são o tipo mais devastador de desastre natural que afeta vidas humanas em todo o mundo, segundo os autores, o padrão das inundações em todos os continentes vêm mudando, tornando-se mais frequentes, intensos e imprevisíveis para as comunidades locais. Para Tingsanchali (2012), os impactos correspondentes às inundações urbanas são significativos devido a fatores como alta densidade populacional, grandes áreas impermeáveis e obstrução dos sistemas de drenagem.

A aplicabilidade dos estudos geomorfológicos pode apresentar abordagens para prevenção de inundações, manutenção de rios, restauração da várzea, entre outros. A geomorfológica fluvial é essencial para entender e gerenciar rios e desenvolver estratégias para o desenvolvimento sustentável. A Geomorfologia Fluvial auxilia no gerenciamento de áreas inundáveis. Segundo Veneziani *et al.*, (2018), a abordagem geomorfológica, por meio da cartografia geomorfológica, permite indicar fatores do sistema físico que influenciam nas suscetibilidades dos ambientes, avançando na identificação de processos hidrodinâmicos e realização de interpretações morfogenéticas. A análise da morfologia fluvial e seus materiais, apoiadas na cartografia geomorfológica, permite indicar tendências de processos hidrodinâmicos atuais e pretéritos, e realizar interpretações morfogenéticas, reconhecer as formas é fundamental para entender a morfodinâmica fluvial.

Os projetos de drenagem urbana e controle das enchentes, basicamente, resumem-se a ações emergenciais, esporádicas e definidas após apenas a ocorrência dos desastres, além de atuarem pontualmente. O Gerenciamento de Inundações deve apresentar estratégias, medidas e políticas que objetivem gerenciar o risco de inundações e orientar o desenvolvimento dos sistemas de drenagem. O gerenciamento de inundação é o processo de resposta a emergências, que precisa de uma integração entre os órgãos competentes, plataforma para coleta de dados/informações, avaliação de risco, além de fazer implementar e revisar as decisões para reduzir, controlar, aceitar ou redistribuir riscos de inundação (HALL *et al.*, 2003).



Desse modo, compreender a dinâmica fluvial através da Geomorfologia pode subsidiar políticas de gerenciamento de inundações. A Geomorfologia Fluvial é uma ciência de síntese na interface entre as geociências, geografia e engenharia aplicada (Kondolf e Piégay, 2003). Ela fornece conhecimento em outros campos como ecologia, química, hidrologia, ciências humanas e ambientais, e permite que o sistema fluvial seja estudado em todas as dimensões temporais, do canal à planície de inundação, das nascentes à foz dos rios (Brierley e Fryirs, 2005). Portanto, este artigo tem como objetivo realizar uma revisão conceitual (teórica) sobre a contribuição dos estudos geomorfológicos para o gerenciamento de inundações.

## **METODOLOGIA**

Realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o tema, geomorfologia fluvial e gerenciamento de inundações, através de pesquisas publicadas em livros, artigos, teses, dissertações e monografias. Sintetizando os resultados, traçando um quadro teórico, adquirindo uma estrutura conceitual, resultando em uma sustentação ao desenvolvimento da pesquisa. Seguindo os seguintes passos:

- Identificação de palavras-chave ou descritores;
- Revisão fontes secundárias;
- Recolhimento de fontes primárias;
- Leitura crítica e resumida da literatura.

Esta metodologia foi utilizada a fim de encontrar novas linhas de investigação, ganhar perspectivas metodológicas e identificar recomendações para investigações futuras.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

O relatório sobre *Climate Change and Land* do *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC (2019) conceitua inundação como transbordamento dos limites normais de um fluxo ou corpo de água em áreas que não são normalmente submersas. Conforme Kron (2002), a partir do transbordamento, ocorrem diversos tipos de inundações, dos quais os mais comuns são as inundações costeiras, graduais e bruscas. A primeira está relacionada ao local específico, ou seja, zona costeira, enquanto as últimas duas estão ligadas à velocidade do próprio fenômeno e podem ocorrer em quaisquer locais.



De acordo com os estudos sobre Desastres Naturais na América Latina e Caribe realizado pelo Escritório da ONU para Assuntos Humanitários (OCHA) as inundações são o tipo de desastres mais comum na região desde o ano 2000. A América Latina e o Caribe tiveram prejuízos de 1 bilhão de dólares causados por danos em 12 enchentes ocorridas entre 2000 e 2019. O Brasil aparece entre os 15 países do globo com a maior população exposta ao risco de inundação, em função de seu histórico e enorme malha hidrológica. No período de 2000 a 2019, ocorreram 70 grandes inundações no país e estima-se que 70 milhões de pessoas foram prejudicadas e 7.414.000 diretamente afetadas (OCHA, 2020).

O aumento das inundações em áreas urbanas pode ser atribuído às alterações antrópicas, relacionadas principalmente com urbanização desordenada, substituição de áreas verdes e ocupação de áreas de risco. Compreender as causas e os efeitos dos impactos das inundações e planejar, investir e implementar medidas que a minimizem é necessário caracterizar os sistemas nos quais estes eventos ocorrem. As inundações podem ocorrer da seguinte forma, segundo Tucci (1999):

- em áreas ribeirinhas: os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor onde a água escoar na maioria do tempo e o leito maior, que é inundado em média a cada 2 anos. O impacto devido à inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita a inundação;
- urbanização: as inundações aumentam a sua frequência e magnitude devido a ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento;

A primeira é decorrente de um processo natural, no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos. Os danos causados a população ocorrem principalmente devido à ocupação inadequada da planície de inundação através da urbanização, já a segunda, ocorre, principalmente, devido à forma como a drenagem urbana é projetada nas cidades e pela impermeabilização das superfícies que produzem aumento de escoamento superficial em detrimento do escoamento subterrâneo.

Tucci (2005) afirma que, as inundações ampliadas pela urbanização, geralmente, ocorrem em bacias de pequeno porte, de alguns quilômetros quadrados. Nas grandes



bacias, existe o efeito da combinação da drenagem dos vários canais de macrodrenagem, que são influenciados pela distribuição temporal e espacial das precipitações máximas.

Em muitos casos não é economicamente ou politicamente viável realocar comunidades e atividades econômicas para longe de áreas sujeitas a inundações, então medidas são postas em prática para gerenciar áreas inundáveis, reduzindo a probabilidade e/ou consequências negativas quando a inundação ocorre (DADSON *et al.*, 2017). Em face de frequentes inundações, é necessário melhorar a retenção e a infiltração da água da chuva em todas as bacias hidrográficas urbanas (YAMASHITA *et al.*, 2015). Cunha (2011) enfatiza que as obras de retificação têm como finalidade o controle das cheias, drenagem das terras alagadas e a melhoria do canal para a navegação. Para a referida autora, estas obras geram diversos impactos, como: mudança do padrão de drenagem, redução do comprimento do canal, perda dos meandros, alteração da forma do canal, diminuição da rugosidade do leito e aumento do gradiente do canal.

A solução tradicional para problemas urbanos de águas pluviais na maioria dos países refere-se a intervenções estruturais envolvendo a instalação de drenos pluviais, canais e barragens para evitar inundações locais. Dessa maneira, as estratégias tradicionais de micro e macrodrenagem urbanas são consideradas insustentáveis, ou seja, não entendem o que realmente origina o problema das inundações e apenas transfere o escoamento na bacia hidrográfica (NEAL *et al.*, 2012).

Nas cidades mais atingidas por inundações observa-se que há pouco investimento, tanto em medidas estruturais (obras de infraestrutura) quanto em medidas não estruturais (mapeamento, previsão, planejamento, soluções alternativas). Sistemas de previsão e mapeamento das áreas atingidas por inundações são medidas não estruturais essenciais para o planejamento dos municípios que tiveram seu desenvolvimento as margens de rios. Tais medidas auxiliariam substancialmente na amenização dos danos decorrentes das inundações. Para Van Herk *et al.* (2011), é necessária uma nova abordagem que inclua respostas estruturais e não estruturais, maximizando oportunidades multifuncionais para o uso da terra.

A gestão de desastres é um processo que inclui atividades antes, durante e depois de um evento de risco que visa prevenir desastres, reduzindo seus impactos e recuperando-se de suas perdas (POSER e DRANSH, 2010). Para Miguez e Magalhães (2010) o Plano Diretor de Gerenciamento de Inundações deve consistir em um conjunto de estratégias, medidas e políticas combinadas entre si, que objetivam gerenciar o risco



de inundações e orientar o desenvolvimento de sistemas de drenagem. No Brasil criou-se o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) e mais recentemente, Plano de Manejo de Águas Pluviais (PMAP), estes surgem como elemento central da gestão das águas pluviais em uma bacia hidrográfica e visam, fundamentalmente, reduzir o volume de escoamento, velocidade, taxas, frequência e duração dos alagamentos (SEBBEN ONEDA, 2018).

De acordo com Héту (2003), os trabalhos relacionados a risco pelos geógrafos são relativamente recentes. Para o autor, esta integração dos riscos no âmbito dos estudos geográficos não pode conceber sem uma visão sistêmica do planeta. O risco na investigação geográfica traduz a vontade de apresentar soluções, de prevenir a manifestação da crise. A dimensão social da Geografia e no caso específico da Geomorfologia aparece claramente equacionada.

A Geomorfologia Fluvial contribui para a análise de risco fluvial, enfatizando os riscos hidroclimáticos e o impacto do uso da terra e da água, gestão das planícies de inundação e encostas na escala de captação (ARNAUD-FASSETTA *et al.*, 2009). A abordagem geomorfológica viabiliza a compreensão de fatores do sistema físico que influenciam na suscetibilidade de tais sistemas, que pode ser definida como a probabilidade de ocorrência de um evento geomorfológico (BRUNSDEN, 1996), caracterizado pela sua capacidade formativa, e pelas suas expressões temporais (magnitude-frequência) e espaciais (VENEZIANI *et al.*, 2018).

A Geomorfologia Fluvial interessa-se pelos processos, formas e materiais relacionados ao escoamento dos rios, englobando assim estudos dos cursos de água e das bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1981; CUNHA, 1998). Dessa forma, o escoamento fluvial compreende a quantidade total de água que alcança os cursos de água, incluindo o escoamento pluvial, que é imediato, e a parcela das águas precipitadas que só posteriormente, de modo lento, vai se juntar a eles através da infiltração. Para Jorge e Uehara (1998), o escoamento superficial ou deflúvio é a parcela que corresponde à água precipitada que permanece na superfície do terreno, sujeita à ação da gravidade.

No Brasil, os desastres mais frequentes nos últimos anos foram às inundações que estão associadas, principalmente, à utilização intensiva do solo pelo homem (ocupando a planície de inundação), sem a preocupação de harmonizar a expansão urbana com a conservação ambiental. Conforme Christofolletti (1981), o estudo sobre as cheias abrange uma análise das frequências relacionadas com os débitos mais elevados que ocorrem





anualmente em determinada seção transversal. Segundo o autor o termo “cheia” refere-se ao maior débito diário que ocorre em cada ano, independente de causar ou não, inundação. Ou seja, “cada cheia representa um evento anual”. Dessa forma, a Geomorfologia Fluvial tornou-se essencial para a nossa capacidade de quantificar o impacto dos efeitos hidrometeorológicos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Contribuições dos estudos geomorfológicos para o gerenciamento de inundações**

A gestão de risco de inundação inclui medidas de planejamento implementadas dentro da bacia hidrográfica e da planície de inundação para mitigar as inundações e geralmente inclui a modificação física da planície e do canal do rio (GODDARD, 1976). A maioria das abordagens para gestão de inundações buscam minimizar a energia dissipada e aumentar o transporte do canal, contudo, deve-se manter o funcionamento geomorfológico “natural” dos canais dos rios e planícies de inundação para reter a conectividade lateral e longitudinal de água, sedimentos e nutrientes (NRC, 2005).

A gestão do risco de inundação possui três objetivos comuns: (1) redução da área de inundação para aumentar as terras habitáveis; (2) redução no estágio de inundação e pico de vazão e; (3) redução na duração de inundação. Embora essas técnicas sejam amplamente utilizadas em todo o mundo, sua eficácia depende muito de uma compreensão detalhada da hidrologia, processos geomorfológicos, bem como da Geologia do Quaternário e o quadro sedimentológico do sistema fluvial associado (ASCE, 2007; HUDSON *et al.*, 2008).

Para Pedrosa (2013), a geomorfologia pode desempenhar um papel relevante na determinação da susceptibilidade específica a um determinado risco num contexto geomorfológico particular. O conhecimento das condições geomorfológicas e, como tal dinâmica do meio físico, permite prever as consequências que as intervenções humanas podem ter sobre o território. Conforme o referido autor, a avaliação da susceptibilidade geomorfológica baseia-se na correlação direta ou indireta de um conjunto amplo de fatores (litologia, tectônica, morfologia, edafologia, rede de drenagem, cobertura vegetal, intervenções antrópicas), aos quais temos de juntar o conhecimento das dinâmicas associadas aos diferentes processos morfogenéticos quer passados, quer atuais.



A geomorfologia fluvial vem contribuindo para a ciência de gerenciamentos de inundações (GREGORY *et al.*, 2008) e a evolução da disciplina avança paralelamente com a dinâmica computacional, sensoriamento remoto digital, sistemas de informação geográfica (SIG) e análise de aquisição de dados geofísicos (BATES *et al.*, 2006), permitindo uma compreensão abrangente de como as abordagens geomorfológicas são relevantes para a análise de risco de inundação (BAKER *et al.*, 2002).

### **Linhas de investigação e perspectivas metodológicas**

A geomorfologia fluvial aborda análise de risco de inundação de vários ângulos. Descreveremos três abordagens. A primeira estima a resposta hidrológica de pequenas bacias ( $\leq 50\text{km}^2$ ), desenvolvida por Horton, Strahler e Schumm, nas décadas de 1940 e 1950, utilizando modelos paramétricos que relacionam as características do hidrograma de inundação (pico, escoamento, tempo de espera) para rede de drenagem quantitativa e forma de índices (área de captação, forma, densidade de drenagem, geometria da rede do riacho). (BENITO e HUDSON, 2017).

A segunda abordagem descreve zonas de risco de inundação em vales aluviais por meio do mapeamento de formas de relevo e depósitos relacionados a inundações, associações de solo e plantas e observações de enchentes. Já a terceira abordagem envolve modelagem hidráulica baseada em energia de “paleoinundações” localizadas em depósitos de águas residuais e outros indicativos de estágios paliativos (BAKER, 2008). Segundo Benito e Thorndycraft (2005) esta abordagem é limitada aos vales confinados, mas fornece estimativas de descarga subsequente, com inúmeras aplicações para os problemas de risco de inundações.

Avanços significativos na compreensão dos rios de inundação têm sido fornecida usando a hidrologia de “paleoinundações” para estimar quantitativamente a magnitude e cronologia de grandes inundações ao longo dos últimos milênios. Esse estudo envolve muitas técnicas diferentes, dependendo de estudos baseados em regime de capacidade de descarga de canais fluviais e análise de competência de fluxo de transporte de sedimentos (WILLIAMS, 1988).

As técnicas de “paleoinundações” de maior sucesso são baseadas no reconhecimento de campo de marcas d'água altas (*High Water Marks* - HWM), depósitos de inundação de *slackwater* e outros indicadores, que são combinados com métodos indiretos convencionais para estimar as magnitudes das descargas das cheias máximas





(BAKER, 2008). É importante ressaltar que os procedimentos ganharam credibilidade e reconhecimento como uma ferramenta eficaz para várias aplicações na compreensão de ocorrências de cheias e na avaliação dos riscos de cheias (Baker *et al.*, 2002; Saint-Laurent, 2004; Benito e Thorndycraft, 2005; Baker, 2008).

Para Benito e Hudson (2017) as três perspectivas se beneficiaram, nas últimas décadas, com avanços em modelagem, metodologias geoespaciais, como sistemas de posicionamento global (GPS), fotogrametria digital e sensoriamento remoto de alta resolução (exemplo ALS, SAR, LiDAR) e sistemas de informação geográfica -GIS. O mapeamento do risco de inundação é uma ferramenta fundamental para o risco de inundação, avaliação, gestão e o reconhecimento de diferentes estilos fluviais (PELLETIER *et al.*, 2005).

Os mapas de riscos devem incluir a extensão da inundação para uma determinada recorrência, intervalo e outras informações hidráulicas fundamentais como profundidade, velocidade e frequência de inundação. Os objetivos finais do mapeamento de risco de inundação geralmente incluem: (1) suporte para planos de gestão de inundações; (2) uso da terra e atividades de planejamento; (3) planos de emergência e evacuação e; (4) aumento da consciência pública sobre os riscos de inundação (BENITO e HUDSON, 2017).

De acordo com De Moel *et al.*, (2009) o mapeamento hidrogeomorfológico leva ao desenvolvimento de um conjunto de mapas integrando várias escalas temporais. Trabalhando em projetos de risco fluvial requerem um entendimento da dinâmica da planície de inundação e a forma como o rio pode reagir às mudanças ambientais. De particular importância é determinar a periodicidade em que os mapas de inundação devem ser revisados. De uma perspectiva de gerenciamento de risco, pode ser usado para mitigar o mau funcionamento hidrodinâmico presente levando em consideração as estruturas hidráulicas e humanas.

### **Recomendações para investigações futuras**

De acordo com Knight e Shamseldin (2006) a gestão fluvial moderna requer políticas sustentáveis e métodos para resolver os conflitos de uso humano e natural capacidade de adaptação dos rios. Para Habersack e Piégay (2007), os desenvolvimentos atuais na geomorfologia fluvial consistem na restauração, reabilitação ou renaturalização de rios através de rios projetados, prevenção de cheias e a manutenção dos leitos dos rios.

Arnaud Fassetta *et al.*, (2009) apresentam três estratégias para mitigar o risco fluvial e os seus impactos. São elas: (1) restauração, reabilitação e ou renaturalização de rios, (2) prevenção de inundação, (3) manutenção de leito do rio.

#### *Restauração, reabilitação e/ ou renaturalização de rios.*

A gestão sustentável de hidrossistemas fluviais com base na restauração do rio assume que obras de engenharia hidráulica na planície de inundação são eficazes e diminuem o risco. No entanto, usando conhecimento de campo e geomorfologia fluvial nas áreas onde a restauração, reabilitação ou renaturalização são necessárias. Demonstra-se a necessidade de medidas de engenharia orientadas para uma perspectiva de “rio vivo”, particularmente em algumas bacias hidrográficas de alta energia ou em várzeas caracterizada por baixa vulnerabilidade (ARNAUD FASSETTA *et al.*, 2005). Algumas estruturas de baixo custo, “ambientalmente amigáveis” são encorajadas, por exemplo, o conceito de corredor erodível que é aplicado a fim de regular a largura do canal ativo, como mostra a figura 1 (ARNAUD-FASSETTA e FORT, 2009).

**Figura 1. Corredor erodível (Rio Clamoux -França)**



Fonte: Arnaud-Fassetta *et al.*, (2009).



O conceito de corredor erodível foi combinado com o uso da mata ciliar, árvores como armadilhas naturais de sedimentos, que foram localmente reforçadas por estruturas de baixo custo. A planície de inundação foi escavada nos locais que foram drenados devido à incisão do canal ou preenchidos devido à posição estática do canal ao longo de várias décadas. Essas ações têm como objetivo alimentar o canal com sedimentos, restaurar a conexão entre os ecossistemas ribeirinhos e as águas superficiais e subterrâneas, e melhorar a contenção de enchentes para mitigar as descargas em picos elevados a jusante. (ARNAUD FASSETTA *et al.*, 2009).

Os corredores aluviais estão sendo mapeados para reconstruir as condições antes da introdução da infraestrutura projetada, notavelmente o antigo canal sinuoso que foram perdidos durante o endireitamento do galho principal e o enchimento de canais secundários. Dessa forma, será possível promover a renaturalização e o uso sustentável das planícies aluviais. A diversidade de recursos no canal também será aprimorada para melhorar a qualidade dos habitats aquáticos para peixes comunidades (*ibid*, 2009).

#### *Prevenção de inundação.*

Conforme Samuels (2006), o desafio da “prevenção” de inundações é fornecer um grau aceitável de proteção por meio da instalação de dispositivos físicos, infraestrutura em conjunto com meios alternativos de redução de risco. Isso exige modelagem robusta de água e processos sedimentares. A modelagem hidrológica e hidráulica pode ser aplicada a todos os tipos de bacia hidrográfica, contudo, não importa o quão complexo o modelo possa ser, eles sempre simplificam os processos morfológicos.

Alguns autores modelaram o funcionamento geomorfológico na escala da bacia hidrográfica usando a teoria da complexidade, particularmente útil em geografia física e ambiental (DI GREGORIO *et al.*, 1998; TORRENS, 2002; COULTHARD *et al.*, 2005; DELAHAYE, 2005; DOUVINET, 2006; FONSTAD, 2006; VAN DE WIEL *et al.*, 2007). Este tipo de estudo direciona-se a identificação das “anormalidades” morfológicas que podem controlar o comportamento hidrológico, analisando as interações entre as variáveis morfológicas da bacia (área de superfície, declive, rede) com a continuidade espacial. Esta abordagem pode levar a uma melhor compreensão da evolução da descarga do rio espaço e tempo. (ARNAUD FASSETTA *et al.*, 2009).



### *Manutenção dos leitos dos rios*

Um equilíbrio deve ser encontrado entre a preservação ecológica, proteção de pessoas e danos causados por inundações. A manutenção do canal deve ser aplicada aos sedimentos e a vegetação ribeirinha. A reintrodução da madeira, ou pelo menos a sua preservação, em redes hidrográficas pode ser uma solução inovadora para fazer os leitos do canal mais ásperos, diminuem a taxa de fluxo a jusante, e, assim, reduzir os fluxos de pico ARNAUD FASSETTA *et al.*, (2009).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este artigo destaca a contribuição da geomorfologia fluvial para a gestão do risco de inundações. Os exemplos detalhados no artigo mostram como a inclusão da geomorfologia fluvial pode levar a novas abordagens para a redução do risco de inundação, manutenção do rio e restauração de várzea. A geomorfologia fluvial tem feito contribuições importantes para a análise espacial de inundações, em escalas de bacias hidrográficas locais, em que processos e riscos de inundações variam ao longo de um continuum com mudanças sistemáticas a jusante nos estilos de planícies de inundação. Por décadas, a geomorfologia fluvial vem trabalhando para entender melhor a cronometragem, o controle e as mundações históricas da inundações e várzeas. Com o desenvolvimento de novas técnicas e avanços em sensoriamento remoto digital, sistema de inforção geográfica (GIS) e geofísica de dados a geomorfologia contribui substancialmente para a ciência da gestão de risco de inundação.

As abordagens tradicionais de engenharia para o controle de risco de inundações, em muitos casos, levam a impactos geomorfológicos adversos que desencadeiam mudanças ambientais não intencionais que prejudicam os esforços de controle de inundações existentes. A gestão de inundações também é uma questão social importante e por isso deve-se esforçar para alcançar uma gestão integrada, ou seja, levando em consideração aspectos sociais, economicos e ambientais, abordando assim, diferentes tipos de ambiente em escala local.

Além disso, é necessário repensar os programas de ensino universitário com vistas à aquisição de melhor equilíbrio entre a pesquisa fundamental e a pesquisa aplicada. É nesta perspectiva que os cursos orientados para a geomorfologia aplicada, a dinâmica das



vertentes e os problemas de gerenciamento devem preparar melhor os estudantes para exercerem plenamente seu papel de cidadãos e tomadores de decisões.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). **The New Orleans Hurricane Protection System: What Went Wrong and Why**. American Society of Civil Engineers Hurricane Katrina External Review Panel, 2007.

ARNAUD-FASSETTA, G. et al. Fluvial geomorphology and flood-risk management. **Rev. Géomorphologie**, 2: 109-128, 2009.

ARNAUD-FASSETTA, G.; FORT M. The integration of functional space in fluvial geomorphology, as a tool for mitigating flood risk. Application to the left-bank tributaries of the Aude River, Mediterranean France. In Gumiero B., Rinaldi M., Fokkens B. (Eds.): **IV th ECRR International Conference on River Restoration 2008**. Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale, pp. 313-322, 2009.

ARNAUD-FASSETTA, G.; COSSART E.; FORT, M. Hydro-geomorphic hazards and impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the Upper Guil catchment (Queyras, French Alps). **Geomorphology**. vol. 66, pp. 41-67, 2005.

AYOG, J.L.; TONGKUL, F.; MIRASA, A. K. ; ROSLEE, R.; DULLAH , S. Flood Risk Assessment on Selected Critical Infrastructure in Kota Marudu Town, Sabah, Malaysia. **MATEC Web of Conferences 103**, vol. 4019, pp. 1–9, 2017.

BAKER, V. R. **Paleoflood hydrology**: origin, progress, prospects. **Geomorphology**. pp. 1–13, 2008.

BAKER, V. R.; WEBB, R. H.; HOUSE, P. K. The scientific and societal value of paleoflood hydrology. In P. K. House, R. H. Webb, V. R. Baker and D. R. Levish (eds.), **Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology**. Water Science and Application Series, 5, pp. 127–146, 2002.

BATES, P. D.; WILSON, M. D.; HORRITT, M. S. *et al.* Reach scale floodplain inundation dynamics observed using airborne synthetic aperture radar imagery: data analysis and modelling. **Journal of Hydrology**, 328, pp. 306–318, 2006.

BENITO, Geraldo; HUDSON, Paul F. Flood Hazards: **The Context of Fluvial Geomorphology**. Geomorphological Hazards and Disaster Prevention, eds. Irasema Alcántara-Ayala and Andrew S. Goudie. Published by Cambridge University Press. Cambridge University Press, 2010.

BENITO, G.; THORNDYCRAFT, V. R. Palaeoflood hydrology and its role in applied hydrological sciences, **Journal of Hydrology**, 313(1–2), 3–15, 2005.





BRIERLEY G.J., FRYIRS K.A. **Geomorphology and river management**. Blackwell, Oxford, 2005.

BRUNSDEN, D. Geomorphological events and landform change. Stuttgart: **Zeitschrift fur Geomorphologie**, 1996.

COULTHARD, T.J.; LEWIN, J.; MACKLIN, M.G. Modelling differential catchment response to environmental change. **Geomorphology**. vol. 69, pp. 222-241, 2005.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Guerra, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.). 3ª edição. Editora Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 1998.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Guerra, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.). 10ª edição. Editora Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. Edgar Blucher, 1981.

DADSON, S.J. *et al.*, A restatement of the natural science evidence concerning catchment-based 'natural' flood management in the UK. **Proc.R.Soc. A** 473: 20160706. 2017.

DELAHAYE, D. Modélisation d'un système spatial complexe: le bassin versant. In Guermond Y. (Ed.): **Modélisations en géographie**. Editions Hermès, Lavoisier, Paris, pp. 229-254, 2005.

DE MOEL, H.; VAN ALPHEN, J.; AERTS, J.C.J.H. Flood maps in Europe – methods, availability and use. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, vol. 9, pp. 289-301, 2009.

DI GREGORIO, S.; SERRA R.; VILLANI, M. Simulation of **soil contamination and bioremediation by a cellular automaton model**. *Complex Systems*, vol. 11, pp. 31–54, 1998.

DOUVINET J. Intérêts et limites des données « CatNat » pour un inventaire des inondations. L'exemple des « crues rapides » liées à de violents orages (Bassin Parisien, Nord de la France). *Norois*, 201, pp. 17-30, 2006.

FONSTAD, M.A. Cellular automata as analysis and synthesis engines at the geomorphology-ecology interface. **Geomorphology**, vol.77, pp. 217-234, 2006.

GODDARD, J. E. The nation's increasing vulnerability to flood catastrophe. **Journal of Soil and Water Conservation**, 31 (2), pp. 48–52, 1976.

GREGORY, K. J., BENITO, G. AND DOWNS, P. W. Applying fluvial geomorphology to river channel management: background for progress towards a palaeohydrology protocol. **Geomorphology**, vol. 98, pp. 153–172, 2008.





HABERSACK H.; PIÉGAY H. Challenges in river restoration in the Alps and their surrounding areas. In Habersack H., Piégay H., Rinaldi M. (Eds.): **Gravel-bed River 6: From Process Understanding to River Restoration**. Elsevier, Amsterdam, pp. 703-737, 2007.

HALL, J.W.; MEADOWCROFT, I.C.; SAYERS, P.B.; BRAMLEY, M.E. Integrated Flood Risk Management in England and Wales. **Natural Hazards Review** 4, pp 126-135, 2003. doi:10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(126).

HÉTU, B. Uma geomorfologia socialmente útil: os riscos naturais em evidência, **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, ano 02, número 03, pp. 83-97, 2003.

HUDSON, P. F.; MIDDELKOOP, H.; STOUTHAMER, E. Flood management along the Lower Mississippi and Rhine Rivers (the Netherlands) and the continuum of geomorphological adjustment. **Geomorphology**, vol. 101, pp. 209–236, 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press, 2019.

JORGE, F.N.; UEHARA, K. **Águas de Superfície**. In: OLIVEIRA, A.M. dos S. & BRITO, S.N.A. de (org.) *Geologia da Engenharia*. São Paulo: ABGE- CNPq –FAPESP. 1998.

KNIGHT D.W.; SHAMSELDIN A.Y. (Eds.) **River basin modelling for flood risk mitigation**. Taylor & Francis, London, p. 607, 2006.

KONDOLF G.M.; PIÉGAY H. (Eds.) **Tools in fluvial geomorphology**. Wiley, Chichester, 2003.

KRON, W. *Keynote lecture*: Flood risk = hazard x exposure x vulnerability. Proceedings of Second International Symposium of Flood Defense, Beijing, pp 82-97, 2002.

MIGUEZ, M.G., MAGALHÃES, L.P.C. **Urban Flood Control, Simulation and Management: an Integrated Approach**, 2010.

NEAL, J.; VILLANUEVA, I.; WRIGHT, N.; WILLIS, T.; FEWTRELL, T.; BATES, P.D. How much physical complexity is needed to model flood inundation? **Hydrol Process**, 26, 2264-2282, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **The Science of Instream Flows: A Review of the Texas Instream Flow Program**. Committee on Review of Methods for Establishing Instream Flows for Texas Rivers, Water Science and Technology Board, Division on Earth and Life Studies, Washington D.C.: National Academy of Sciences Press, 2005.



OCHA. Natural disasters in Latin America and the Caribbean: 2000-2019. 2020. Disponível em: [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/20191203-ocha-desastres\\_naturales.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/20191203-ocha-desastres_naturales.pdf).

PEDROSA, A. S. A Importância da Geomorfologia na compreensão das dinâmicas territoriais e na gestão dos riscos naturais. In: **EGAL: Reencontro de saberes territoriales latinoamericanos**, 2013, Lima. Memórias de los Encuentros Geográficos de América Latina, 2013.

PELLETIER, J. D.; MAYER, L.; PEARTHREE, P. A. *et al.* An integrated approach to alluvial-fan flood hazard assessment with numerical modeling, field mapping, and remote sensing, **Geological Society of America Bulletin**, 117, pp. 1167–1180, 2005.

POSER, K.; DRANSCH, D.. **Volunteered Geographic Information for Disaster Management with Application to Rapid Flood Damage Estimation**. *Geomatica*, vol. 64, no. October, pp. 89–98, 2010.

SAINT-LAURENT, D. Palaeoflood hydrology: an emerging science. **Progress in Physical Geography**, 28, pp. 531–543, 2004.

SAMUELS, P.G. The European perspective and research on flooding. In Knight D.W., Shamseldin A.Y. (Eds.): **River Basin Modelling for Flood Risk Mitigation**. Taylor and Francis, London, pp. 21-58, 2006.

SEBBEN ONEDA, Tânia Mara. **Planos Diretores de Drenagem Urbana: uma análise comparativa entre planos e países desenvolvidos e em Desenvolvimento**, 2018 (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil –UDESC. Joinville, 2018.

TINGSANCHALI, T. Urban flood disaster management. **Procedia Eng.**, vol. 32, pp. 25–37, 2012.

TORRENS, P.M. Cellular automata and multi-agent systems as planning support tools. In Geertman I., Stillwell J. (Eds.): **Planning Support Systems in Practice**. Springer-Verlag, London, pp. 205-222, 2002.

TUCCI, C.E.M. **Aspectos Institucionais no Controle de Inundações**. I Seminário de Recursos Hídricos do Centro Oeste. Brasília, 1999.

TUCCI, C.E.M. **Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre, 2005.

VAN HERK, S.; ZEVENBERGEN, C.; ASHLEY, R. ;RIJKE, J.. Learning and Action Alliances for the integration of flood risk management into urban planning: a new framework from empirical evidence from The Netherlands. **Environmental Science & Policy**, pp. 1–12, 2011.

VAN DE WIEL, M. J.; COULTHARD, T.J.; MACKLIN, M.G; LEWIN, J. Embedding reach-scale fluvial dynamics within the CAESAR cellular automaton landscape evolution model. **Geomorphology**, vol. 90, pp. 283-301, 2007.



VENEZIANI, Y. **Inundações em sistemas fluviais meândricos**: Geomorfologia e hidrologia de Paleoinundações aplicadas à identificação de eventos holocênicos extremos no baixo rio Ribeira de Iguape, Brasil, 2018. (Tese de doutorado) Departamento de Geografia. Faculdade de Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

WILLIAMS, G. P. Paleofluvial estimates from dimensions of former channels and meanders. In V. Baker, C. Kochel and P. Patton, (eds.), **Flood Geomorphology**. New York: Wiley Interscience, pp. 321–334, 1998.

YAMASHITA, S.; WATANABE, R. ; SHIMATANI, Y. Smart Adaptation to Flooding in Urban Areas. **Procedia Eng.**, vol. 118, pp. 1096–1103, 2015.