
A CONTRIBUIÇÃO DA ABORDAGEM SISTÊMICA NOS ESTUDOS FLUVIAIS URBANOS

THE CONTRIBUTION OF THE SYSTEMIC APPROACH IN URBAN FLUVIAL STUDIES

Marcus Vinícius Oliveira Sartório¹
André Luiz Nascentes Coelho²

RESUMO: Com o aumento da quantidade de trabalhos específicos realizados sobre rios urbanos, destituídos de um olhar mais abrangente, consideramos de alta relevância o resgate de uma visão holística e integradora na geografia física e áreas correlatas a partir de uma perspectiva de sistemas fluviais. Nesse contexto, o objetivo deste artigo é explorar a contribuição da abordagem sistêmica no estudo de rios urbanos e apresentar um panorama das pesquisas realizadas nesta temática. Todavia, não se pretende aqui esgotar o assunto, mas colocar em evidência um conceito importante para o desenvolvimento de estudos hidrogeográficos integrados. A metodologia empregada consistiu em reunir referenciais de alguns dos principais autores que embasaram esta abordagem, para compreender melhor como essa visão contribuiu para a evolução do pensamento sistêmico aos rios urbanos. Diante disso, chegamos a uma constatação que a abordagem tradicional dada a esses rios reflete em uma visão parcial dos impactos causados pelas obras de canalização, ao ponto em que uma abordagem integradora da dinâmica fluvial, baseada na visão sistêmica, possibilita o entendimento mais amplo da dinâmica e dos processos fluviais incluindo ações do homem, consequentemente em um melhor diagnóstico, planejamento e gestão desses ambientes de canais e rios e ordenamento territorial.

Palavras-chave: Rios urbanos. Bacia de Drenagem. Geomorfologia Fluvial. Canalização. Impermeabilização do solo.

ABSTRACT: As the works about urban rivers had increased in their number, devoid of a more comprehensive view, we consider of high relevance the rescue of a holistic and integrative vision in the physical geography and related areas from a fluvial systems

1 Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: marcus.sartorio@gmail.com.

2 Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo. E-mail: alnc.ufes@gmail.com.

Agradecimento: À CAPES, pelo apoio financeiro na forma de bolsa de mestrado através do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFES, que possibilitou a realização deste trabalho.

Artigo recebido em maio de 2019 e aceito para publicação em junho de 2019.

perspective. In this context, the objective of this paper is to explore the contribution of the systemic approach in the study of urban rivers and to present an overview of the researches carried out in this area. However, it is not intended here to exhaust the subject, but to highlight an important concept for the development of integrated hydrogeographic studies. The methodology used in the research consist of a theoretical reference gathering from some of the main authors who supported this approach, to better understand how this vision contributed to the evolution of systemic approach about urban rivers. On that perspective, we conclude that the traditional approach given to these rivers reflects in a partial view of the impacts caused by the canalization works, to the stage where an integrative approach to fluvial dynamics, based on the systemic view, allows a broader understanding of the dynamics river processes including human actions, consequently in a better investigation, planning and management of these channel and river environments and territorial planning.

Keywords: Urban rivers. Drainage Basin. Fluvial Geomorphology. Channelization. Soil sealing.

INTRODUÇÃO

As pesquisas acerca de rios urbanos sob diferentes enfoques têm se tornado cada vez mais frequentes na Geografia, do mesmo modo que em outras ciências como a Hidrologia, a Arquitetura, as Engenharias, entre outras. A razão para a ampliação dos estudos como estes, de maneira geral, advém da constatação de que cada vez mais os rios e córregos se encontram desnaturalizados pelas intervenções expressivas em suas margens e em seu leito. Ainda assim, grande parte dos trabalhos se desenvolve em linhas muito específicas como estudos sobre aporte de sedimentos, comportamento hidrológico, qualidade da água, escoamento superficial, dentre outros, enquanto estudos de caráter integrador são ainda muito pontuais.

O olhar fragmentado sobre esse campo se torna arriscado a medida em que se perdem informações fundamentais presentes não em suas frações, mas no todo. A abordagem técnica unilateral de planejadores e gestores sobre a dinâmica dos rios e canais acaba por conferir uma visão reducionista do tratamento destes diante das novas demandas apresentadas pelo crescimento urbano. Esta desconsideração das conexões e das complexidades dos elementos e dos fenômenos que compõem os sistemas naturais resultou, ao longo do tempo, em uma intensa degradação ambiental dos rios e suas margens, gerando importantes consequências no modo de vida da população que reside próximo a esses corpos d'água (GREGORY, 2006).

A problemática, sobretudo em áreas urbanas, se apresenta cada vez mais complexa devido às sobreposições de fenômenos e sujeitos atuantes neste ambiente, inviabilizando uma abordagem unilateral para a gestão e ou planejamento desses sistemas fluviais. Portanto, este trabalho busca apresentar uma visão holística e integradora dos elementos que compõem o sistema fluvial urbano, mostrando a contribuição do pensamento sistêmico e exibir um panorama dos estudos realizados nesta temática.

A ESTRUTURA SISTÊMICA NOS ESTUDOS DA GEOGRAFIA

Uma das principais questões de estudo da Geografia foi, e continua sendo, o problema de desvendar a relação entre o homem e a natureza a respeito das mudanças ambientais, bem como a repercussão das ações humanas sobre o meio, e seus reflexos. Uma das abordagens que têm se mostrado satisfatórias metodologicamente na Geografia Física contemporânea, é o viés sistêmico e suas derivações metodológicas mais específicas como a “noção de paisagem”, “geossistemas”, “ecogeografia”.

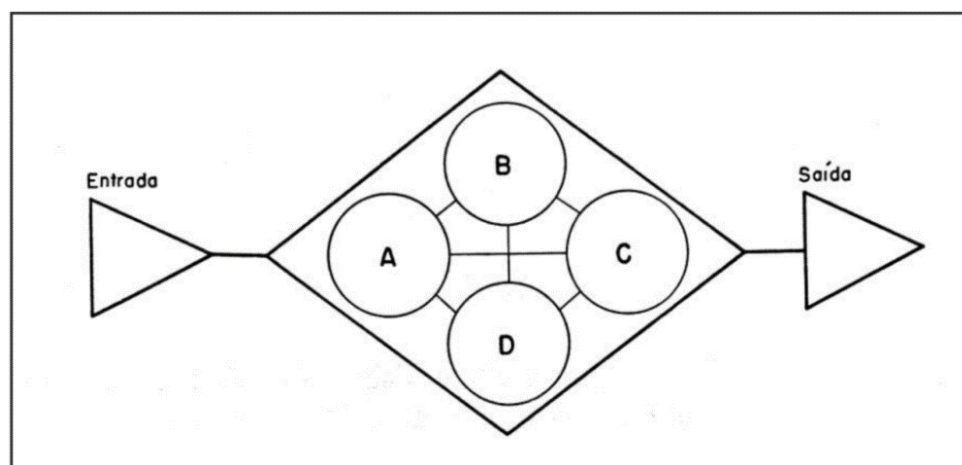
Vale (2004) considera que os sistemas já eram estudados há séculos por muitos nomes ilustres. As abordagens do conceito, porém, eram distintas às que Bertalanffy (1975) fez ao propor a Teoria Geral dos Sistemas. A teoria, postulada de fato por Bertalanffy, ou o próprio “pensamento sistêmico”, trabalhado por tantos cientistas ao longo do tempo, abriu caminho não apenas para mais uma “teoria”, mas para uma nova visão, cujos princípios são os da totalidade, da abrangência das partes, de uma visão holística/integradora. O pensamento sistêmico é, dessa forma, uma visão que concebe os elementos da natureza, incluído o homem com suas ações/intervenções no meio, de forma integrada e dinâmica nos quais vários campos de estudos podem ser complementados.

A teoria foi criticada como rótulo de pseudociência, mas não era senão um modo de considerar as coisas do ponto de vista holístico. As objeções colocadas à teoria foram aos poucos sendo superadas, e, a partir dos anos 1950, apresentou uma aceitação maior por parte da comunidade científica (VALE, 2013).

Aplicado a princípio aos estudos de termodinâmica e biologia, somente bem mais tarde sua aplicação se fez presente na Geografia, introduzida pelos trabalhos de Strahler (1950, 1952). Já Christofolletti (1980) considera os trabalhos desenvolvidos por Hack (1960), Chorley (1960) e Howard (1965) basilares para a problemática sistêmica nesta ciência. Na Geografia Física, a abordagem dos conceitos sistêmicos para as redes fluviais e bacias hidrográficas, com o trabalho de Chorley e Hagget (1974), abriram caminho para estudos mais específicos de sistemas fluviais.

Dentre as definições de sistemas que foram refinadas a partir de então, Thornes e Brusden (1977), citados por Christofolletti (1979, p.5), consideram como um “conjunto de objetos ou atributos e das suas relações, que se encontram organizadas para executar uma função particular”, enquanto Miller (1965) assinala que “um sistema é um conjunto de unidades com relação entre si. A palavra ‘conjunto’ implica que as unidades possuem propriedades comuns. O estado de cada unidade é controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades.

Os sistemas apresentam entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*). A entrada é composta por aquilo que o sistema recebe. O exemplo de um rio que recebe água da precipitação e sedimentos fornecidos pela vertente; a Terra que recebe energia solar, e assim por diante (Figura 1). Cada sistema é alimentado por determinados tipos de entrada. As entradas recebidas pelo sistema passam por transformações em seu interior e depois são encaminhadas para fora do mesmo. Assim, todo produto fornecido representa um tipo de saída (HUGGETT, 2003).



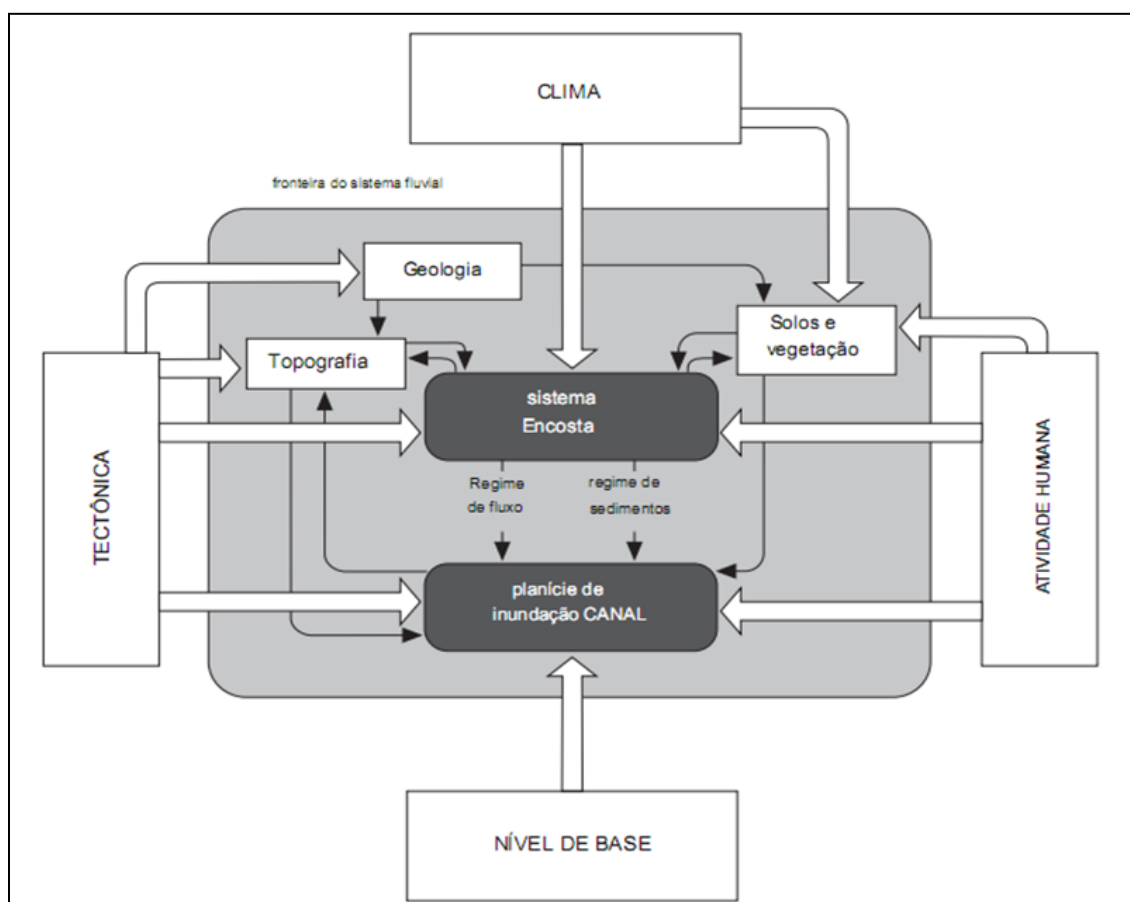
Fonte: Christofolletti (1979)

Figura 1. Representação esquemática de um sistema, assinalando os elementos (A, B, C, D) e suas relações, assim como o evento de entrada e o produto saída.

A estrutura do sistema é constituída pelos elementos (unidade básica) e suas relações, expressando-se através do arranjo de seus componentes. Em determinado nível de tratamento, estas unidades correspondem a entidades, sendo indivisíveis. Quando é alterado o nível de tratamento, passando para outra escala analítica, a unidade anteriormente mencionada pode passar a ser considerada como um sistema no qual é possível estabelecer seus componentes e as suas relações. Na ótica da geomorfologia fluvial Christofolletti (1979) destaca que:

Um rio é elemento no sistema hidrográfico, mas pode ser concebido como sistema em si mesmo; a vertente é elemento no sistema de bacia de drenagem, mas pode ser sistema em si mesmo; um automóvel é um elemento no sistema trânsito, mas pode representar um sistema completo em sua unidade (p.13).

Ainda segundo Christofolletti (op. cit.), as estruturas de um sistema apresentam três características principais, são elas: seu tamanho – delimitado pelo número de unidades que compõe o sistema; correlação – o modo pelo qual as variáveis de um sistema se relacionam; e causalidade – que mostra qual é a variável independente, que controla a variável dependente, a qual apenas passa por transformações se a primeira se alterar. Para exemplificar como essas variáveis influenciam no comportamento de uma bacia de drenagem, Charlton (2008) considera a densidade de drenagem, padrão de drenagem, profundidade do canal, ângulo da encosta, produção de sedimentos e vazão, como variáveis internas, enquanto clima, tectonismo, nível de base e atividades humanas, são, por sua vez, consideradas como variáveis externas do sistema (Figura 2).

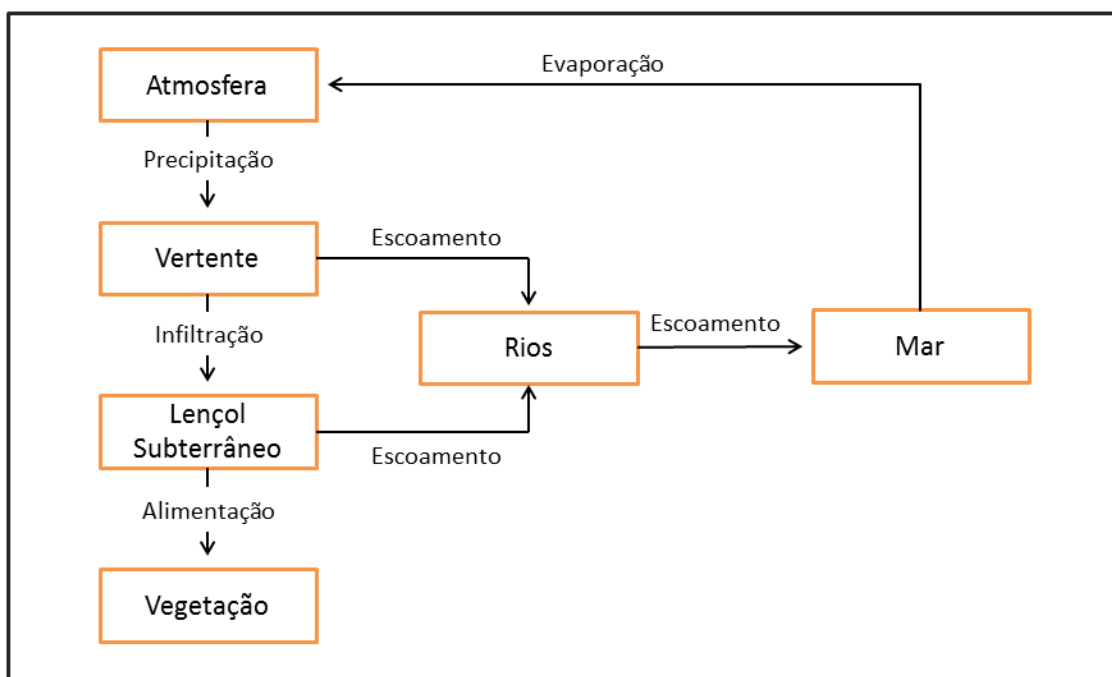


Fonte: Adaptado de CHARLTON, 2008

Figura 2. Representação simplificada das variáveis que influenciam no funcionamento de uma bacia de drenagem.

Quanto à classificação dos sistemas, esta pode ser realizada de acordo com o critério funcional ou conforme sua complexidade estrutural. A partir de sua funcionalidade os sistemas se distinguem entre isolados e não isolados abertos ou fechados. A maior parte dos sistemas naturais são abertos, a exemplo de uma bacia de drenagem, uma vertente, um organismo e muitos outros, onde estes mantêm relações com os demais sistemas do universo onde ocorrem constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo quanto perdendo (CHARLTON, 2008; FIERZ, 2008). A partir da complexidade estrutural, Chorley e Kennedy (1971), apresentam diversos tipos de sistemas, porém, nesta análise se destacam quatro:

1. Sistemas Morfológicos – São compostos somente pela associação das propriedades físicas do fenômeno (geometria, composição, etc.), constituindo os sistemas menos complexos das estruturas naturais. Correspondem às formas sobre as quais se pode escolher diversas variáveis a serem medidas;
2. Sistemas em Sequência – São compostos por cadeia de subsistemas, possuindo tanto magnitude espacial quanto localização geográfica, que são diretamente relacionados por uma cascata de matéria e energia. O posicionamento dos subsistemas é contíguo e nesta sequência a saída (*output*) de matéria e energia se torna a entrada (*input*) para o subsistema seguinte, a exemplo da sequência apresentada na Figura 3;



Fonte: Adaptado de CHRISTOFOLETTI (1979)

Figura 3. Relacionamento sequencial entre vários subsistemas.

3. Sistemas de Processos-respostas – São formados pela combinação de sistemas morfológicos (indicando formas) e sistemas em sequência (indicando processos). A ênfase maior está em identificar o processo e a formas que dele resultam. Por consequência, pode-se estabelecer um equilíbrio entre o processo e a forma de modo que qualquer alteração no sistema em sequência será refletida por alterações na estrutura do sistema morfológico (na forma), através de reajustamento das variáveis, em vista a alcançar um novo equilíbrio, estabelecendo uma nova forma. Por outro lado, as alterações ocorridas nas formas podem alterar a maneira pela qual o processo se realiza;

4. Sistemas Controlados – São aqueles que apresentam a atuação do homem sobre os sistemas de processos-respostas. Neste sistema, a complexidade é aumentada pela intervenção humana nas chaves ou válvulas que irão interferir na distribuição de matéria e energia dentro dos sistemas em sequência e, conseqüentemente, influenciar nas formas que com ele está relacionada;

Este último pode ser exemplificado a partir da intervenção antrópica nos rios de uma bacia de drenagem. Ao canalizar o baixo curso de um rio, os processos erosivos e de transporte no alto e médio curso são intensificados, pois a maior velocidade das águas a jusante incide sobre os trechos a montante. Assim, quando os sedimentos atingem menores declividades, estes são depositados causando o assoreamento do trecho canalizado, isso é, uma modificação na forma (CUNHA, 2013).

Outro exemplo, citado por Carneiro e Miguez (2011) diz respeito a capacidade de infiltração de uma determinada área em uma bacia de drenagem que é modificada pela ação humana (implantação de vias, edificações em alvenaria, etc). Quando a água da chuva é impedida de infiltrar e escoar sobre a superfície impermeabilizada, a taxa de infiltração decresce, enquanto o escoamento superficial é aumentado. Neste caso, o tempo que a água leva para atingir os cursos d'água é reduzido devido ao aumento da velocidade do fluxo superficial, fazendo com que uma maior quantidade de água atinja os rios em um curto período de tempo, modificando o equilíbrio do rio.

Em todos os casos, observa-se encadeamento na ação, assinalando que os eventos são dependentes uns dos outros. Um efeito desencadeado por um acontecimento gera uma sequência de fenômenos cujas conseqüências voltam a atuar no objeto ou fato inicial. Este conjunto de interações que ocorrem nos sistemas é conhecido como mecanismo de retroalimentação (*feedback*). É notável que ambas as situações exemplificadas levam a uma provável situação de inundação caso a área esteja em um ambiente favorável a ocorrência desse evento. Neste caso, é necessário considerar que a estruturação do sistema parte também das noções relacionadas com os atributos de análise implicitamente básicas à abordagem. Uma dessas noções é o ambiente em que o sistema se encontra.

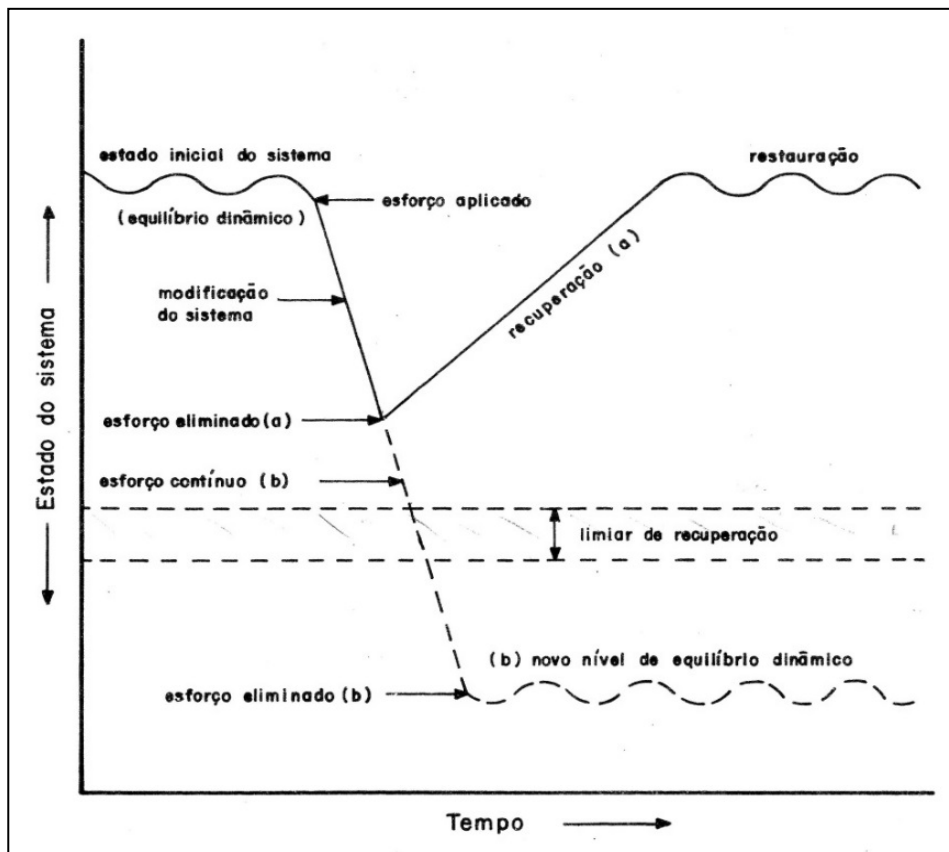
O ambiente representa um sistema de ordem mais elevada no qual um sistema que está sendo examinado é uma parte. De maneira geral, os sistemas se encontram incorporados em conjuntos maiores, mantendo conexões de matéria e energia, e isso constitui seu ambiente (CHRISTOFOLETTI, 1979). Quando consideramos o ambiente em que se encontra uma bacia de drenagem, assim como seus atributos, percebemos que as modificações antrópicas na estrutura dos canais e na impermeabilização do solo não geram, por si só, uma condição favorável a eventos de inundação, mas, considerando o ambiente que a bacia dos canais se encontra é possível que se tenha uma condição mais favorável a esse tipo de evento.

Nessa perspectiva, Christofolletti (1980) também considera as bacias como sistemas não isolados, pois envolvem uma série de subsistemas, como por exemplo o sistema vertente, dos canais fluviais e as planícies de inundação, em que ocorre troca de matéria e energia constantemente. A própria bacia corresponde a um subsistema, pois faz parte de uma das etapas do ciclo da água na Terra. Poderíamos então classifica-la como um sistema subsequente ao do ciclo hidrológico, e ao mesmo tempo antecedente do sistema dos canais fluviais, sem esquecer, no entanto, que não há um encadeamento linear sequencial entre os sistemas, como se eles constituíssem uma corrente composta por elos ininterruptos. Apesar disso, Christofolletti (1979) considera que:

Praticamente a totalidade dos sistemas que interessam ao geógrafo não atua de modo isolado, mas funciona dentro de um ambiente e faz parte de um universo maior. Esse conjunto maior no qual se encontra o conjunto particular que se está estudando, pode ser denominado de universo, o qual compreende o conjunto de todos os fenômenos e eventos que, através de suas mudanças e dinamismo, apresentam repercussões no sistema focalizado, e também de todos os fenômenos e eventos que sofrem alterações e mudanças por causa do comportamento do referido sistema particular. (p.3).

Dessa forma, os sistemas não possuem delimitações taxativas, mas de acordo com a abordagem que se quer dar, e a partir dos princípios da teoria sistêmica, podemos identificar distintos sistemas que interagem entre si em diferentes escalas. Esses estão em interação a partir do mecanismo de retroalimentação (*feedback*), permitindo que os subsequentes possam voltar a exercer influência sobre os antecedentes, numa perfeita interação entre todo o universo.

Como esses sistemas não permanecem isolados, fluxos de matéria e energia ocorrem constantemente entre eles, possibilitando um ajustamento no estado de equilíbrio. Quando um elemento ou fator é inserido ou modificado causando um desequilíbrio, o mesmo apresenta uma capacidade de se recuperar do impacto causado até voltar a um estado de equilíbrio original. Esse efeito é chamado de resiliência do sistema (DREW, 1986). Quando o limite de recuperação do sistema é atingido ele procura um novo estado de equilíbrio, adaptando-se às novas condições (Figura 4).



Fonte: DREW (1986)

Figura 4. Relação de um estado do sistema ambiental perante um esforço ou tensão que lhe é imposto ao longo de um tempo; (a) com a cessação do esforço antes do nível limite há condições para a sua recuperação; (b) ao ultrapassar o limiar de recuperação não há condições de o sistema voltar ao estado natural. Quando há eliminação do esforço, a estabilização ocorre em um novo nível de equilíbrio.

Portanto, é importante frisar que as alterações promovidas em um dos elementos do sistema fluvial, a exemplo do processo de urbanização com a impermeabilização do solo e modificação direta em canais e rios urbanos, podem causar alterações nos demais sistemas associados, gerando assim, um desequilíbrio na dinâmica natural do ambiente.

SISTEMAS FLUVIAIS URBANOS

Outras preocupações como a ação antrópica sobre o ambiente fluvial e fluvio-marinho, em especial sobre as intervenções realizadas através de obras de engenharia, têm levado à estudos mais concentrados nos efeitos (respostas do sistema) desencadeados nos corpos d'água continentais e marinhos como um campo mais recente da Geomorfologia, a Urbana (GUERRA, 2011). Sobretudo quando observamos os estudos voltados para rios ou canais urbanos são colocados em evidência os problemas decorrentes do encontro destes com as cidades. Procura-se entender como esta relação, que, segundo Saraiva (1999) tem se estabelecido mais recentemente a partir de uma degradação e sujeição, gera modificações no equilíbrio natural desses sistemas, potencializando eventos de catastróficos significativos à população.

As modificações sobre os ambientes naturais foram empreendidas desde a antiguidade, visando o controle da natureza para o aproveitamento de seus recursos e dos potenciais oferecidos, com a finalidade de sustentar o desenvolvimento da sociedade. A intensificação dessas modificações, ao longo dos séculos, foi marcada por uma fase de controle e domínio do homem, a partir do desenvolvimento de técnicas no controle dos sistemas naturais, quando se passou a visar à maximização dos benefícios advindos da exploração dos recursos e a redução e controle dos riscos ambientais (NUNES, 2015).

Mais recentemente, a relação de degradação e sujeição do meio pelo homem passa a ser agravada a partir de atitudes chamadas por Saraiva (1999) como “predatórias” e “dilapidadoras”, ultrapassando os limites de regeneração e suporte dos sistemas naturais. Os impactos causados nos rios modificam seus regimes de escoamento e passam a demandar constantes intervenções, visando corrigir problemas gerados pelas intervenções pretéritas. Dessa forma, ao contrário de essas águas qualificarem o espaço urbano, elas acabam por se colocar como reveladora dos embates entre as cidades e o meio, trazendo como consequência a redução do valor de sua presença nesse espaço.

O cenário urbano construído a partir desses preceitos segue repetindo o padrão de ocupação do território/uso da terra, sem considerar suas características e determinações naturais, resultando nas condições urbanas atuais, segundo as quais a natureza segue dominada pela técnica. Os rios passam por expressivas intervenções com a reprodução desse padrão de urbanização, tendo suas margens e planícies de inundação ocupadas e desnaturalizadas, as suas águas deterioradas pela poluição com seus cursos e leitos modificados em padrões que suplantam suas formas e dinâmicas (PASSOS, 2015).

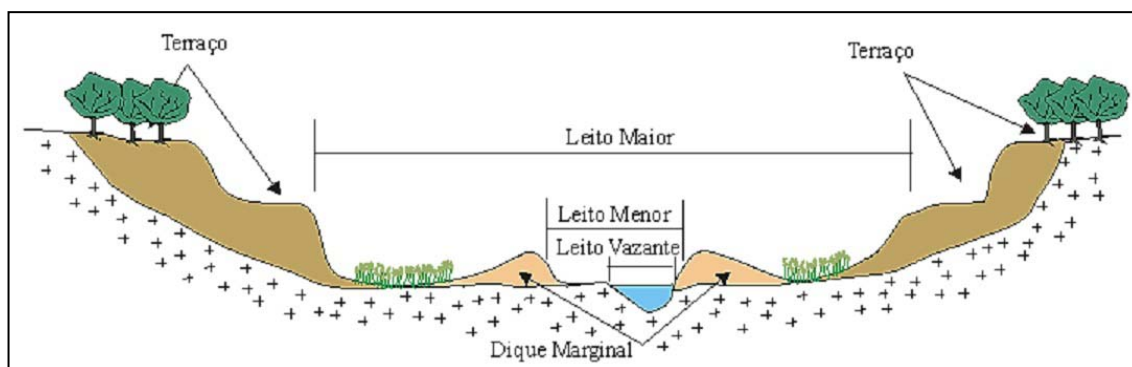
Botelho (2011) destaca que este quadro atual surge primeiramente a partir da necessidade de expansão da área urbana e a busca por novos espaços de ocupação, sobretudo em planícies fluviais e costeiras. E para que esta expansão seja viabilizada, surge a necessidade de drenar as áreas pantanosas e eliminar os meandros dos rios. Para fazer isso, foram adotadas técnicas estruturais como a canalização e a retificação, aumentando a velocidade das águas e diminuindo o espaço físico ocupado pelos rios, eliminando os meandros e permitindo a ocupação de suas margens.

Segundo Tucci (1997), a expansão populacional não foi acompanhada da criação de infraestruturas adequadas para atender aos novos contingentes urbanos, como os sistemas de abastecimento de água, de coleta e tratamento de esgoto pluvial e cloacal, ausências que impactaram

negativamente a qualidade dos rios urbanos. Como consequência desses impactos, observa-se a deterioração da qualidade das águas, o acentuado assoreamento dos rios e a intensificação das inundações urbanas. Tais respostas/efeitos têm diversas causas: a impermeabilização acentuada do solo paralela à diminuição de sua cobertura vegetal, o aumento da velocidade e do volume de escoamento das águas drenadas superficialmente, as alterações estruturais dos rios, a grande produção de resíduos sólidos urbanos, sem a adequada coleta e destinação final, a poluição, provocada por ligações irregulares de esgoto na rede de drenagem urbana, entre outras diversas obras de infraestrutura que têm dificultado a manutenção do sistema fluvial (TUCCI, op. cit.).

As onerosas obras estruturais para confinar os cursos d'água possibilitaram que suas margens fossem drenadas, beneficiando a ocupação. Porém, a ocupação dessas áreas ambientalmente sensíveis levou, na realidade, a uma maior exposição da população a uma situação de risco diante dos eventos de inundação desses rios.

Segundo Tucci e Bertoni (2003), a ocupação humana no leito maior dos rios (Figura 5) (normal e excepcional) ocorre em virtude das inundações terem uma ocorrência irregular ao longo dos anos (via expansão irregular das áreas urbanas e especulação imobiliária). O tempo transcorre, a memória se dissipa, e a população habita as áreas inundáveis desconsiderando os riscos inerentes a esse tipo de ocupação. Com isso, muitas vezes, nas cidades e comunidades ribeirinhas, as águas atingem as moradias, as vias públicas (ruas, rodovias e passeios), as áreas de lazer, o comércio e a indústria, entre outros.



Fonte: Reis (2001)

Figura 5. Os tipos de leitos fluviais.

Este cenário é bem retratado na cidade de São Paulo, que mostra como a urbanização da metrópole alterou de forma marcante sua relação com os rios Tamanduateí, Pinheiros e Tietê, que outrora foram fundamentais para o estabelecimento da mesma e, aos poucos, tornaram-se obstáculos para seu crescimento, sobretudo diante dos projetos viários que se instalavam (Figura 6). Como consequência dessas interferências nos sistemas fluviais, São Paulo passa por constantes inundações em sua área urbana.



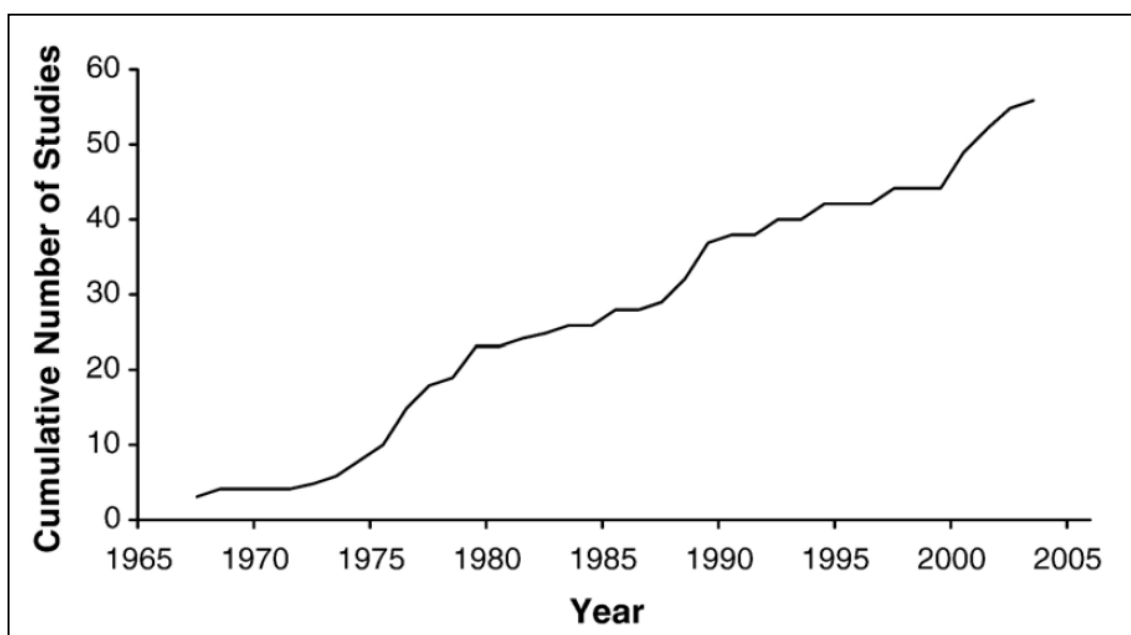
Fonte: Acervo Estadão (2012)

Figura 6. Obras de canalização no curso do rio Tamanduateí, na capital paulista em 1980.

Uma das características da grande metrópole são suas vias arteriais instaladas sobre o leito dos rios cobertos em fundos de vales e em suas margens, o que reforça sua característica viária em detrimento dos sistemas fluviais. Este é apenas um exemplo do cenário brasileiro atual, talvez um dos mais enfáticos devido à sua extensão e o impacto causado sobre os inúmeros rios e córregos que já foram suprimidos. O problema das inundações urbanas se tornou crônico e mais frequente nesta e em muitas outras cidades, o que reforça a afirmação de Perez Filho et al. (2006), de que cada vez mais cresce o número de pessoas afetadas pelas inundações mesmo durante eventos climáticos não tão extremos.

De maneira geral, os estudos críticos que tratam dessa problemática não são atuais. A vasta bibliografia sobre urbanização e supressão de rios foi amplamente debatida a partir dos anos 1970 em países tidos hoje como desenvolvidos, a exemplo dos Estados Unidos e Inglaterra (CHIN, 2006). Os trabalhos sintetizados em capítulos de livros, como os de Gregory (1977), Lewin (1981), Morisawa (1985), dentre outros, mostram como há mais de quarenta anos as pesquisas acerca dessa temática tem representado grande preocupação por parte dos pesquisadores.

Ao realizar um levantamento dos principais trabalhos produzidos sobre as transformações urbanas e as consequências nos sistemas fluviais ao redor do globo, Chin (2006) identificou que o número de estudos se multiplicou em resposta ao crescimento da população mundial, que somente no terceiro quarto do século XX cresceu 100% ao redor do mundo e 200% em regiões menos desenvolvidas (Figura 7).



Fonte: Chin (2006)

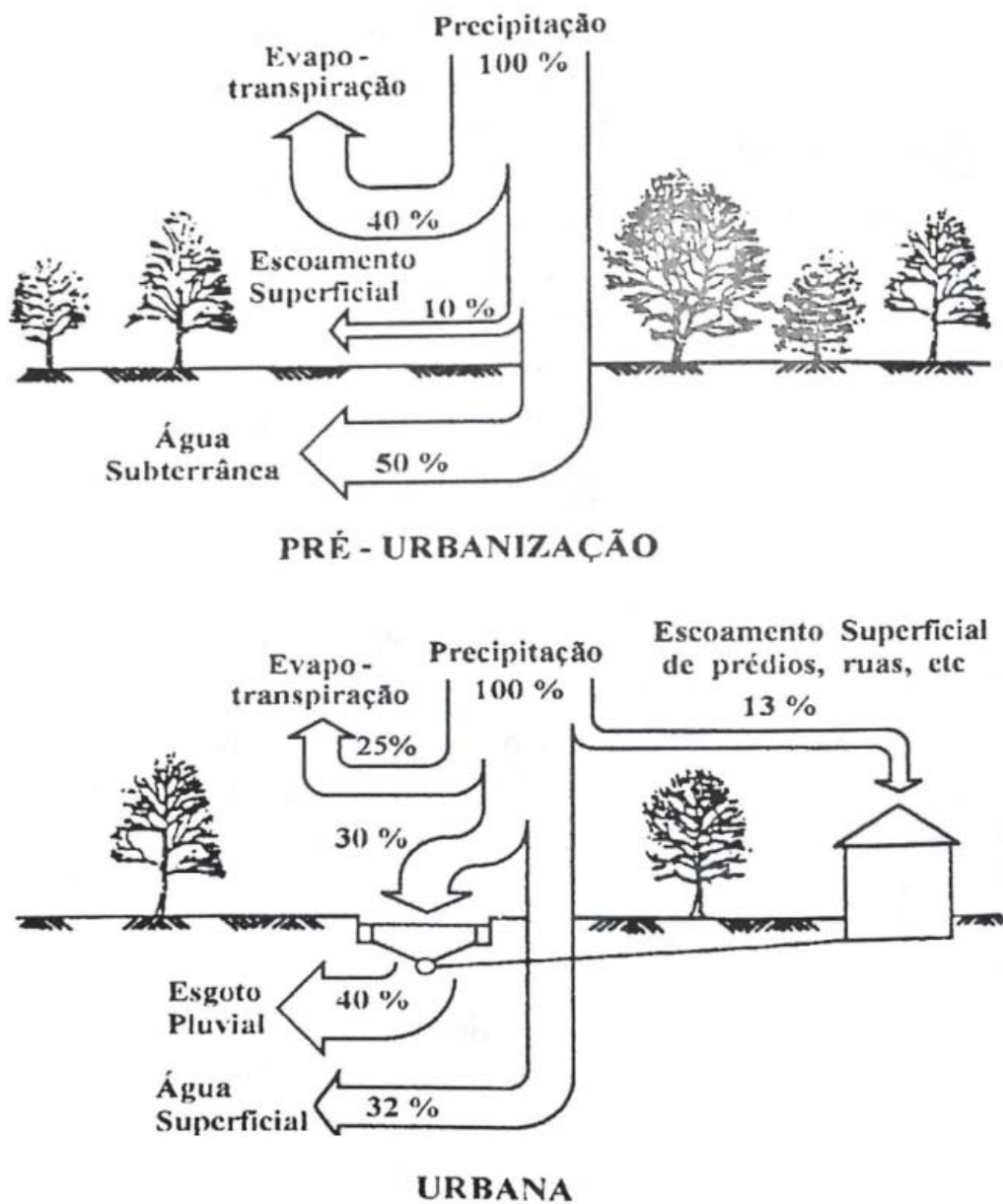
Figura 7. Número acumulado de estudos (em língua inglesa) relativos à alterações geomorfológicas em rios urbanos de 1965 a 2005.

Torna-se evidente que com este contingente populacional passando a ocupar um espaço reduzido, notadamente nos centros urbanos, o número e a intensidade dos impactos causados sobre o sistema fluvial crescem exponencialmente. Diante disso, podemos tomar como base os estudos de Park (1981) e Knighton (1981), que apresentam duas principais maneiras que ocorrem mudanças no sistema fluvial em ambientes urbanos: a partir das modificações no próprio curso dos rios e a partir da impermeabilização do solo pela malha urbana.

IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

A entrada da água nos sistemas terrestres através da precipitação desencadeia uma série de processos e possíveis trajetórias que dependem, sobretudo, das condições das esferas por onde ela irá circular. Nesse sentido, é evidente que as condições da superfície do solo irão influenciar nesta etapa do ciclo hidrológico, ao menos em escala local. Segundo Botelho e Silva (2004), ao atingir o solo, a água pode tomar diversos caminhos até chegar ao canal fluvial, sendo escoada superficialmente ou subsuperficialmente, de acordo com as condições locais. Vale lembrar que há uma parcela de água que é interceptada na superfície e retorna para a atmosfera por evaporação.

Diferentemente de ambientes florestados ou de áreas agrícolas, nas cidades esta etapa do ciclo apresenta funcionamento distinto quanto à infiltração de água no solo (Figura 8). Devido aos elementos adicionados pelo homem, o índice de infiltração da água é reduzido causando um desequilíbrio nesse sistema, gerando assim, um aumento do escoamento superficial, ao mesmo tempo em que diminui a infiltração da água no solo (BOTELHO; SILVA, 2004; BOTELHO, 2011; CARNEIRO; MIGUEZ, 2011).



Fonte: Oecd (1986) apud Tucci e Genz (1995)

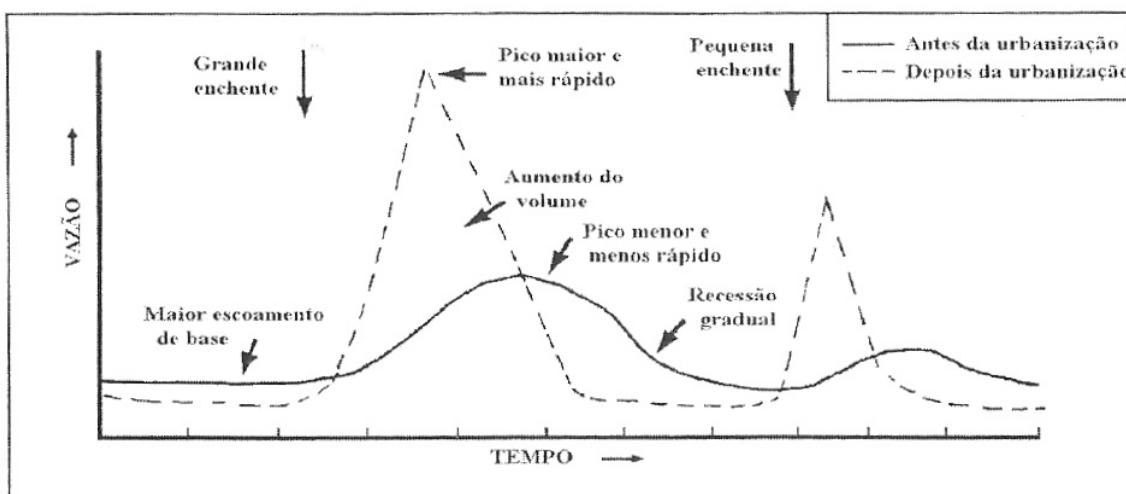
Figura 8. Características do balanço hídrico em uma bacia urbana.

Botelho (2011) considera que as áreas urbanas são marcadas fundamentalmente pela diminuição do tempo de concentração devido ao aumento do escoamento superficial das águas precipitadas na área urbanizada e pelo aumento dos picos de cheias. Da mesma forma, Cunha (2008) considera que:

O grau de infiltração está relacionado ao tipo de cobertura da superfície. Nas áreas urbanas sua taxa é de difícil definição, mas, de forma geral, verifica-se uma redução da infiltração das águas em função do aumento da impermeabilização da superfície pelas calçadas, ruas, coberturas das casas e edifícios, entre outros (p.336).

Na medida em que o tempo necessário para escoar a água que cai na superfície diminui, maior é o pico de vazão máxima. A parcela de água das chuvas que é impedida de infiltrar no solo, escoar sobre a nova superfície e alimenta os canais fluviais mais rapidamente. Assim, o tempo entre a precipitação e o pico de cheia de uma bacia se torna menor na medida em que sua área é impermeabilizada (LEOPOLD, 1968).

O processo indicado é representado na ilustração de Schueler (1987) citado por Carneiro e Miguez (2011, p.36), através de um hidrograma onde há uma situação de agravamento das condições de escoamento em uma bacia urbanizada (Figura 9). Neste hidrograma, é possível observar o pico de vazão causado pelo aumento da velocidade do fluxo superficial ocorrendo em um período de tempo mais curto do que em uma bacia não urbanizada.



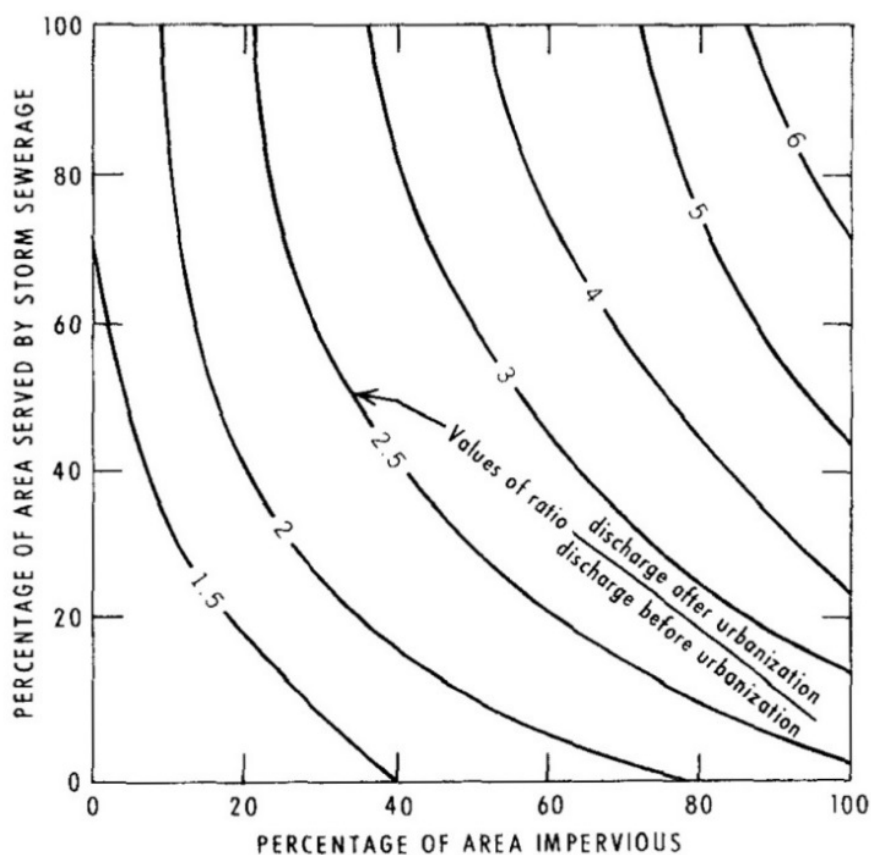
Fonte: Schueler (1987), adaptado por Carneiro e Miguez (2011).

Figura 9. Efeito da urbanização no hidrograma de uma bacia de drenagem.

Geralmente, em um sistema urbano menos impermeabilizado, a água tem maior percentual de infiltração e interceptação pela cobertura vegetal, levando um tempo maior para atingir os canais fluviais, diminuindo assim os picos de cheia e os riscos de uma inundação mais repentina (VITTE; GUERRA, 2004).

Portanto, o resultado dessa modificação tende a aumentar e adiantar o pico de uma cheia, tendo em vista que mais água fica disponível para escoar e as retenções naturais da vegetação, como árvores e vegetação rasteiras (interceptação), são removidas no processo de urbanização, fazendo a água escoar mais rapidamente. Da mesma forma, com um maior volume de água convergindo para os fundos de vale, a dinâmica fluvial é alterada, causando desequilíbrio entre os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos na calha fluvial.

Leopold (1968) estimou o impacto da urbanização na vazão média de inundações por milha quadrada com base na relação entre a percentagem de alteração da drenagem e na percentagem de área impermeável de uma pequena bacia urbana (Figura 10). As isolinhas no gráfico mostram que o pico de descarga pode aumentar até sete vezes com a intensa impermeabilização do solo.



Fonte: Leopold (1968)

Figura 10: Efeito da urbanização na média anual de inundações em bacia urbana.

Em geral, a maneira como ocorre a urbanização interfere nos padrões das inundações, que ocorrem de maneira natural no ambiente, alterando sua magnitude e frequência de ocorrência. Uma vez eliminado o espaço que deveria ser deixado livre para a acomodação das grandes enchentes, as águas acabam procurando outros caminhos, se espalhando e atingindo áreas que antes não alagavam naturalmente, tornando maior o nível de risco associado a esses eventos, no que concerne à presença de pessoas, construções e atividades econômicas (CARNEIRO; MIGUEZ, 2011).

CANALIZAÇÃO E DESNATURALIZAÇÃO

Depois dos impactos gerados pelas modificações do uso do solo, a canalização aparece com um dos principais métodos para escoar rapidamente as águas, substituindo os caminhos naturais por galerias e canais artificiais de maior capacidade de vazão. No controle de enchentes e inundações urbanas, a canalização é a medida mais tradicional, com o objetivo essencial promover um escoamento mais rápido do grande volume de água que atinge os canais, além de possibilitar a ocupação de suas margens, através da eliminação dos meandros (BOTELHO; SILVA, 2004; TUCCI, 2008).

A demanda por interferências nos rios e córregos aparecem na medida em que a malha urbana se expande. Muitas vezes também, a canalização é adotada para atender as necessidades de um crescimento urbano “desordenado”, que ocorre de maneira rápida e sem um planejamento prévio. Nesses casos são levados em consideração somente problemas

isolados e, para estes, soluções pontuais. Naturalmente, percebeu-se que com a expansão das áreas urbanas, essas medidas tradicionais não resolviam o problema das inundações, apenas as transferiam de um ponto a outro da bacia, focando apenas na capacidade da rede de drenagem ao invés de tratar o problema de maneira integrada (CARNEIRO; MIGUEZ, 2011).

Segundo Brookes (1985), a canalização envolve todas as obras de engenharia praticadas no canal fluvial, com a finalidade de controle das inundações. Essas obras compreendem o alargamento e aprofundamento da calha fluvial, remoção de obstruções no canal, retificação e construção de canais artificiais e construção de diques artificiais (Tabela 1).

Tabela 1. Principais obras de canalização realizadas em rios urbanos.

Obra	Objetivo	Procedimentos
Alargamento e aprofundamento da calha	Aumentar a capacidade de escoamento da água no canal, de modo a conter a água que escoar na planície.	Consiste na ampliação da seção transversal do canal através do alargamento e aprofundamento da calha.
Retificação dos canais e construção de canais artificiais	Reduzir a altura do nível das cheias pelo aumento do gradiente do leito e, por conseguinte, a velocidade da vazão.	Consiste na redução da extensão do curso de água pela construção de canais artificiais e eliminação de meandros.
Construção de diques	Aumentar a capacidade do canal e proteger cidades adjacentes ao rio.	Consiste na elevação artificial das margens do rio através de estruturas de contenção.
Remoção de obstáculos do canal	Diminuir a resistência hidráulica e aumentar a velocidade dos débitos pela remoção das obstruções	Consiste na remoção das irregularidades no fundo do canal e de plantas aquáticas que se proliferam impedindo o escoamento das águas.

Fonte: Adaptado de Cunha (2013)

Vale destacar que essas obras exigem constante manutenção da capacidade do canal, envolvendo dragagem, devido ao acelerado acúmulo de sedimentos e remoção das obstruções. Além das tradicionais obras de canalização, Martins (1995) acrescenta que normalmente são instaladas estruturas auxiliares para controle, dispersão de energia, amortecimentos de picos, proteção contra assoreamento, incluindo estações de bombeamento.

Cada “problema” do rio é tratado como uma questão específica, que em geral, leva à solução mais eficiente a partir de cálculos complexos das variáveis que regem a dinâmica das águas e dos sedimentos fluviais (CHOW, 1959 apud CUNHA, 2013). Todavia, ao aplicar o processo de canalização sem considerar os preceitos básicos da dinâmica fluvial, regido pelos processos hidrológicos e geomorfológicos de erosão, transporte e deposição de sedimentos, seu equilíbrio é quebrado, gerando, muitas vezes, um efeito reverso ao desejado.

Esta abordagem evidentemente reflete os traços de uma visão fragmentada sobre os elementos do sistema, que tem, por consequência, efeitos negativos de ordem hidrológica, geomorfológica e biológica, gerados no trecho alterado, a jusante deste e na planície de inundação. Cunha (1991a, 1991b, 1992, 1995) sumarizou as principais consequências geradas pela canalização nesses trechos e na planície:

a) No trecho: Os efeitos das modificações se mostram mais evidentes. A princípio, destaca-se o aumento da amplitude das descargas locais (efeito desejado) juntamente com o aumentando a velocidade do fluxo. Por sua vez ocorre a elevação nos picos de descargas nos tributários, elevando os débitos e o pico de descarga no canal principal. Mudanças no regime hidrológico ocorrem como consequência direta da perda do armazenamento na planície de inundação. Também o padrão de escoamento é modificado com a remoção de obstáculos e consequente diminuição da turbulência.

b) A jusante: O setor do rio após o trecho canalizado, em que ainda são preservadas as características naturais, oferece resistência à descarga da água que vem do trecho a montante. A consequente diminuição da velocidade do escoamento favorece a ocorrência de cheias esporádicas ligadas a eventos torrenciais. Os sedimentos resultantes da erosão no canal retificado, em conjunto com a excessiva carga de sedimentos posta em suspensão durante a dragagem e na fase imediata após a construção, originam a formação de depósitos fluviais de curta duração que em seguida são erodidos, vindo a formar bancos axiais e depósitos de sedimentos marginais.

c) Na planície de inundação: A principal mudança ocorrida na planície de inundação é o rebaixamento do lençol freático e a consequente drenagem da planície, promovida pelas obras de aprofundamento do leito do rio. Junto a desembocadura de uma bacia litorânea pode ser acentuada a contaminação do lençol freático pela salinidade das águas, através do fenômeno de penetração da cunha salina durante marés altas.

Como foi apresentado anteriormente, essas obras são consideradas “tradicional” no controle de inundações urbanas e foram usadas por diversas sociedades ao longo de milênios, em especial a construção de diques de contenção ao longo de grandes rios ao redor do mundo (CARNEIRO; MIGUEZ, 2011; CUNHA, 2013). Essa concepção mais tradicional de projeto vem sendo substituídas por conceitos mais recentes de renaturalização, revitalização, ordenamento do território para planejamento e controle do uso e ocupação da terra, buscando resgatar padrões de escoamento próximos daqueles anteriores à urbanização e agregando preocupações de qualidade e de controle da quantidade de água. Esses novos conceitos buscam soluções sistêmicas da bacia, entendendo-a como unidade integrada, fugindo do eixo exclusivo gerado pela observação direta da rede de canais e dos problemas pontuais de um trecho ou de um afluente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo dos anos, importantes pesquisadores na geografia refinaram a teoria dos sistemas de acordo com as críticas construtivas realizadas sobre os trabalhos que concorrem ao fundamento proposto por Bertalanffy, chegando a uma compreensão mais integradora que estes sistemas possuem com o meio. Esses princípios foram sendo aprimorados e hoje são considerados fundamentais nos estudos dos sistemas fluviais. Esta abordagem pode ser incorporada para discussões onde o ser humano age como elemento modificador dos sistemas, gerando alterações nos processos operantes, causando desequilíbrio nos elementos e processos.

Em ambientes urbanos, esse reflexo é ainda mais notado, pois as intervenções se dão em maior escala e intensidade, podendo gerar um novo quadro em que o sistema não consegue voltar ao seu estado de equilíbrio original, com formas e processos determinados por elementos estruturantes inseridos na bacia e nos rios.

Embora a abordagem sistêmica tenha sido tratada superficialmente nos estudos fluviais por alguns autores, ela encontra-se presente indiretamente em grande parte dos estudos nessa linha, seja pela utilização de conceitos já consolidados embasados em uma visão sistêmica, seja em sua metodologia de análise. Desta forma, espera-se que este

trabalho contribua para um maior esclarecimento da importância dessa abordagem nos estudos fluviais, sobretudo na interface com os estudos de rios urbanos.

REFERÊNCIAS

- ACERVO Estadão. **Rio Tamanduateí, um dos principais afluentes de São Paulo**. 2012. Disponível em: <http://acervo.estadao.com.br/noticias/lugares,rio-tamanduatei,8349,0.htm>. Acesso em: 02 jul. 2017.
- BERTALANFFY, L. von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis (RJ): Editora Vozes, 1975.
- BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (org.) **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (orgs.) **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- BROOKES, A. River Channelization: Traditional Engineering Methods, Physical Consequences and Alternative Practices. **Progress in Physical Geography**, v. 9, n. 1, 1985.
- CARNEIRO, P. R. F.; MIGUEZ, M. G. **Controle de inundações em bacias hidrográficas urbanas**. São Paulo: Annablume, 2011.
- CHARLTON, R. **Fundamentals of fluvial geomorphology**. Londres: Routledge, 2008.
- CHIN, A. Urban transformation of river landscapes in a global context. **Geomorphology**, v. 79, n. 3, p. 460-487, 2006.
- CHORLEY, R. J. Geomorphology and General System Theory. **Geological Survey Professional Paper 500-b**. Washington, p.1-10, 1960.
- CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. **Modelos Integrados em Geografia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos: Editora da USP, 1974.
- CHORLEY, R. J. KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a system approach**. Londres, Inglaterra: Prentice Hall, 1971.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia: introdução**. São Paulo: Editora Hucitec: Editora da Universidade de São Paulo, 1979.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1980.
- CUNHA, S. B. Impactos potenciais das obras de engenharia na dinâmica do canal e planície de inundação do rio São João, RJ, Brasil. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS, 5., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., 1991, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, 1991a.
- CUNHA, S. B. Retificação do Rio São João: efeitos na morfologia do canal e na ecologia. **Finisterra**, v. 26, n. 51, 1991b.
- CUNHA, S. B. River Channel Change: The Case Study of São João River, Brasil. Abstracts. In: INTERNATIONAL GEOGRAPHICAL CONGRESS. 27th., 1992. **Proceedings [...]**. 1992. p. 130.
- CUNHA, S. B. **Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João (Rio de Janeiro) Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Instituto de Geociências, UFRJ, 1995.
- CUNHA, S. B. Morfologia dos Canais Urbanos. In: POLETO, C. (org.) **Ambientes e Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2008.
- CUNHA, S. B. Rios Desnaturalizados. In: BARBOSA, J.L. LIMONAD, E. **Ordenamento territorial e ambiental**. Niterói: Editora da UFF, 2013.
- DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. São Paulo: DIFEL: Difusão

Editorial, 1986.

FIERS, M. S. M. **As abordagens sistêmicas e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade do litoral do estado de São Paulo**: contribuição à geomorfologia das planícies costeiras. Tese (Doutorado). FFLCH. São Paulo, 2008. 394 p.

GREGORY, K. J. The human role in changing river channels. **Geomorphology**, v. 79, n. 3-4, p. 172-191, 2006.

GREGORY, K. J. River channel changes. United Kingdom: John Wiley & Sons, 1977.

GUERRA, A. T. (org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

HACK, J. T. Interpretation of Erosional Topography in Humid Temperate Regions. **American Journal of Science**, v. 258-A, p. 80-97. 1960.

HOWARD, A. D. Geomorphological system: equilibrium and dynamics. **American Journal of Science**, v. 263, n. 4, p.302-312, 1965.

HUGGETT, R.J. **Fundamentals of geomorphology**. Londres: Routledge, 2003.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms and process**. Londres: Edward Arnold, 1981.

LEOPOLD, L. B. Hydrology of urban planning: a guide book on the hydrologic effects on urban land use. **USGS circ.** 554p, 1968.

LEWIN, J. **British Rivers**. Londres: George Allen & Unwin, 1981.

MARTINS, J. R. S. Obras de Macrodrenagem. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (org.) **Drenagem Urbana**. Porto Alegre-RS: ABRH, 1995.

MILLER, J. G. Living systems: basic concepts. *Behavioral Science*, v. 10, p. 193-237.1965.

MORISAWA, M. Rivers: form and process. **Geomorphology texts**, Londres: Longman. n. 7, 1985.

NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PARK, C. C. Man-induced changes in stream channel capacity. In: BROOKES, A. **River Channel Changes**. United Kingdom: John Wiley and Sons, 1981.

PASSOS, R. M. **Rede hídrica e urbanização**: o Córrego Jucutuquara na paisagem urbana de Vitória-ES. 2015. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. 2015

PEREZ FILHO, A. et al, Monitoramento e gerenciamento de bacias urbanas associados a inundações: diagnose da bacia do Ribeirão Quilombo na Região Metropolitana de Campinas utilizando geotecnologias. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 19, p. 44-54, 2006.

REIS, F. A. G. V; **Curso de geologia ambiental via Internet**. 2001. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter11.html>. Acesso em: 10 mar. 2017.

SARAIVA, M. da G. A. N. **O rio como paisagem**: gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento do território. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian: Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Ministério da Ciência e da Tecnologia, 1999.

STRAHLER, A. N. Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis: part I. **American Journal of Science**, v. 248, n. 10, p. 673-696, out. 1950.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology, **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: Rebouças, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org.) **Águas Doces do Brasil**: capital ecológico, uso e conservação, p. 475-508, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Rios Urbanos**. Estudos Avançados, v.22, n.63. 2008.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (org). Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (org.) **Drenagem urbana**. Porto Alegre-RS: ABRH,

1995. p. 277-347.

VALE, C. C. **Séries geomórficas costeiras do estado do Espírito Santo e os habitats para o desenvolvimento dos manguezais: uma visão sistêmica.** São Paulo, 386 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. 2004.

VALE, C. C. Teoria geral do sistema: histórico e correlações com a Geografia e com o estudo da paisagem. **Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 85-108, 2013.

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (orgs.) **Reflexões sobre a geografia física no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

MENDONÇA, F. **Geografia física: ciência humana?** 6. ed. São Paulo: Contexto, 1998.

WOHL, E. Time and the river flowing: fluvial geomorphology since 1960. **Geomorphology**, v. 216, p. 263-282, 2014.