



REVISÃO DO PLANO DIRETOR DE PRESIDENTE VENCESLAU: ESTUDO DE ÁREAS PERMEÁVEIS COMO SUBSÍDIO PARA FORMULAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS AMBIENTAIS

STUDY OF PERMEABLE AREAS AS SUBSIDY FOR THE FORMULATION OF PUBLIC POLICIES IN THE PREPARATION OF PRESIDENTE VENCESLAU'S MASTER PLAN

Raphael Silva Nespolo, Edmur Azevedo Pugliesi, José Roberto Fernandes Castilho, Márcio Rogério Pontes, Sara Bastos, Luís Felipe Bispo dos Santos

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP.

E-mail: raphael.nespolo@unesp.br, edmur@fct.unesp.br, jrcast@uol.com.br, marcioropontes@gmail.com, sara.bastos@unesp.br, bispo.santos@unesp.br

RESUMO – Este estudo interdisciplinar constitui a análise espacial de uma sub-bacia hidrográfica. Ele tem por objetivo estudar as relações entre o solo pavimentado e os impactos negativos das chuvas numa área urbana, logo, antropomorfizada, em Presidente Venceslau – SP. Usando dos instrumentos cartográficos de testes, análises e avaliações, os autores mostram e comprovam que as regras municipais sobre uso e ocupação do solo não são aplicadas e o Município, portanto, tem de, erroneamente, combater as consequências das chuvas e não as suas causas derivadas de uma urbanização desigual. O centro do trabalho é a representação cartográfica das propriedades e estruturas urbanas de acordo com sua obediência à lei local em matéria ambiental. A conclusão é a de que o pavimento precisa ser removido na taxa legal, dentre outras, que foram apresentadas à Prefeitura em projeto de lei.

Palavras-chave: ambiente construído; taxa de permeabilidade; análise de bacia hidrográfica.

ABSTRACT – This interdisciplinary work is a spatial analysis of a sub-basin hydrographic. It aims to study the relations between paved ground and the negative impacts of rainfall in an urban area, thus, anthropomorphized, in Presidente Venceslau – SP. Using cartographic tools of testing, analysis, and evaluations, the authors show and prove that the local legal dispositions on land use and occupation is not applied and the Municipality, therefore, has to face the precipitation consequences while not engaging its cause which is, mostly, an uneven urbanization. The center of the work is the cartographic representation of properties and urban structures according to its obedience to local law dispositions concerning environmental matters. The basic conclusion proposes that the pavement must be removed in the legal rate limit and a craft of legal provisions was sent to the Municipality.

Keywords: urban environment; unpaved rate; watershed analysis

INTRODUÇÃO

A proteção da permeabilidade do solo, preservando suas características naturais que permitem a infiltração das águas pluviais, é um dos aspectos fundamentais da política ambiental, notadamente no meio urbano. É, assim, um dos temas fundamentais do plano urbanístico diretor exigido pela Constituição (art. 182) e que integra o conjunto de serviços públicos referentes ao saneamento básico (Lei nº 11.445/07). Este plano, composto por metas e meios, por objetivos a atingir e instrumentos voltados para o atingimento delas, ordena a ocupação dos espaços habitáveis, na perspectiva do interesse coletivo (Brasil, 2007).

Como o problema dos alagamentos na cidade de Presidente Venceslau – SP, causados pelas chuvas e pela falta de sistemas de drenagem urbana adequados, é recorrente, a equipe responsável por aquela leitura tomou uma área crítica – em especial o bairro Jardim Eldorado, e áreas adjacentes – como área-teste. Dessa forma, é possível fazer o levantamento do cumprimento efetivo da taxa de permeabilidade dos lotes, índice urbanístico que está previsto no plano diretor vigente da cidade, considerando ainda as condições ambientais da sub-bacia, o uso e ocupação do solo, a infraestrutura existente, bem como tendo em vista as possíveis alterações nos regimes de chuvas e de escoamento superficial causados pelas mudanças climáticas.

O estudo piloto empreendido busca apreender e avaliar conhecimentos, técnicas e metodologias que possam ser replicadas para o planejamento das mudanças necessárias no tecido urbano já ocupado, bem como aquelas ações necessárias na expansão da área urbana do Município.

O presente trabalho é uma análise cartográfica a respeito do cumprimento efetivo de um índice urbanístico fundamental sob o ponto de vista ambiental que é a taxa mínima de permeabilidade do lote. Lotes, quadras e vias são os elementos básicos da morfologia urbana. Resultante do parcelamento do solo urbano, o lote é a unidade edilícia que deve cumprir função socioambiental, tal como definido pela Constituição Federal (art. 5º/XXIII e 225).

Neste sentido, as questões que buscam ser respondidas são: "A taxa mínima de permeabilidade do lote é obedecida pelos proprietários dos lotes no Jardim Eldorado e adjacências localizadas dentro da mesma sub-bacia?"; "Qual é a relação entre a permeabilidade do lote e os alagamentos nestes bairros?"; "Quais são as consequências da impermeabilização do solo na área de estudo?". "Como comprovar e demonstrar, cartograficamente, que existe uma relação direta entre impermeabilização do solo urbano e impactos ambientais negativos?"

JUSTIFICATIVA

O Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), apresenta resultados alarmantes sobre os atuais níveis de concentração de gases de efeito estufa (GEE), apontando ainda que a temperatura média do planeta pode se elevar entre 1,8°C e 4°C até 2100, o que causaria uma alteração drástica no meio ambiente.

Esse cenário de elevação de temperatura levaria a um aumento da intensidade de eventos extremos e, também, à alteração do regime das chuvas, com maior ocorrência de secas e enchentes. Estudos demonstram que, além de colocarem em risco a vida de grandes contingentes urbanos, tais mudanças no clima poderiam desencadear epidemias e pragas, ameaçar a infraestrutura de abastecimento de água e luz, bem como comprometer os sistemas de transporte.

Entender a natureza e a dimensão desses impactos continua sendo crucial para a determinação de políticas de combate ao aquecimento global (IPEA, 2011). Isso porque a minimização dos impactos com a mudança do clima requer um esforço global e coordenado de ações de mitigação e adaptação que vão requerer um forte compromisso das gerações presentes e futuras de cada país.

Assim, torna-se crucial entender as estruturas de custos e benefícios e de ganhadores e perdedores, como também as de governança que decidem, regulam e acompanham a implementação dessas ações de combate ao aquecimento global.

Os riscos serão potencializados pelo aumento da temperatura e, conseqüentemente, da frequência de eventos de chuvas intensas, principalmente no verão.

Estudos preliminares sugerem que, entre 2070 e 2100, uma elevação média na temperatura da região de 2°C a 3°C poderá dobrar o número de dias com chuvas intensas (acima de 10 milímetros) na capital paulista.

Esses cenários de risco foram apresentados no relatório Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo e se referem a análises de impactos e vulnerabilidades atuais e futuras, com projeções para 2030, por meio da aplicação de um modelo de projeção da mancha urbana. Essa análise permitiu identificar as possíveis áreas que seriam ocupadas no futuro e o risco potencial, caso o padrão de uso e ocupação do solo atual se perpetue sem nenhuma alteração e controle.

Muito embora Presidente Venceslau não figure entre as megacidades, as consequências dos eventos extremos serão sentidas e as medidas de adaptação devem ser planejadas e implantadas com vistas a minimizar os efeitos negativos que serão produzidos.

O sistema de drenagem de águas pluviais é relativamente simples, porém o seu funcionamento é essencial para que não haja maiores prejuízos materiais e até mesmo perda de vidas como já aconteceu neste Município em razão de uma galeria de águas pluviais que não suportou o volume de água.

Desta forma o presente estudo, a definição de metodologias ajustadas e interdisciplinares e os resultados alcançados que podem subsidiar a formulação de políticas públicas, planos de investimentos e ações concretas no sentido de melhorar e adequar o sistema de gestão e drenagem de águas pluviais, já se justificam nos dias atuais, tendo em vista que são problemas existentes e recorrentes, principalmente de alagamentos, ainda mais com a previsão de incremento no número e intensidade de eventos extremos de precipitação que se avizinha.

O Plano Urbanístico Diretor é o instrumento da política urbana que determina as diretrizes de desenvolvimento para os Municípios com principal atenção às áreas urbanas e de expansão urbana que são ou serão urbanizadas.

Assim sendo, mediante os avanços no conhecimento dos possíveis efeitos adversos causados pelas mudanças climáticas, bem como pelos avanços ocorridos no conhecimento da gestão e drenagem de águas pluviais, a revisão do Plano Diretor Urbanístico do Município de Presidente Venceslau é a ferramenta adequada, tanto para compreensão dos problemas existentes (alagamentos), quanto dos futuros (maior quantidade e intensidade de eventos extremos de precipitação) que certamente sobrecarregarão os sistemas infraestruturais existentes, com os impactos múltiplos derivados disso.

OBJETIVOS

O objetivo principal foi o de compreender a dinâmica da água pluvial para que, como fim, o Poder Público possa intervir sobre ela com meios adequados. Este tema é parte do Plano Diretor do Município, no tópico referente à drenagem urbana e, no final, o trabalho foi feito exatamente para oferecer sugestões ao Município a partir de uma sub-bacia destacada. A Prefeitura, depois, pode levar a metodologia para outras sub-bacias e, com isso, intervir positivamente no escoamento da água da chuva em escala maior. Enfim, o objetivo foi o de atender o interesse público no que refere ao meio ambiente, à drenagem – que é parte do saneamento do meio - e à segurança.

No âmbito da análise espacial buscou-se desenvolver, aplicar, ajustar e entender as metodologias de estudo de sub-bacias hidrográficas para aplicá-las na sub-bacia específica de análise, onde ficam localizados partes do Jardim Eldorado, do Residencial Azenha e do Jardim Coroados, no Município de Presidente Venceslau. Procurou-se, mais especificamente, compreender a dinâmica da água pluvial nessa sub-bacia que faz com que, em precipitações intensas, ocorra sua alta concentração próxima ao ponto exutório. Lembre-se que o art. 2º/IV da Lei nº 11.445/07 dispõe como princípio a necessidade de “disponibilidade, nas áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais” (Brasil, 2007).

Com isso, pretende-se gerar informações espaciais e ambientais que subsidiem a formulação de políticas públicas municipais que visem adaptar, melhorar e adequar os sistemas de gestão e drenagem de águas pluviais, frente aos desafios apresentados pelas mudanças climáticas e o incremento na quantidade e intensidade de eventos extremos de precipitação. A proposta, portanto, é a de que, com a compreensão da dinâmica da água pluvial no local, sejam apontadas soluções adequadas para evitar riscos de danos causados pela chuva e, em especial, o controle do uso do solo para permitir a ampliação da drenagem superficial.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CICLO HIDROLÓGICO E BACIA HIDROGRÁFICA

A água, existente em todo o planeta, na atmosfera, na superfície, nos mares, oceanos e subsolo encontra-se em diferentes estados físicos e em permanente circulação, estabelecendo o ciclo hidrológico (FUNASA, 2016).

O processo desse ciclo, se dá a partir da radiação solar e do metabolismo dos seres vivos (transpiração), os quais fornecem energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação). Soma-se a este processo a força da gravidade e a água condensada nas nuvens que se precipita (precipitação).

Uma vez na superfície terrestre, a água basicamente circula na camada aparente do solo que se reúne em córregos e rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou também se infiltra entre os poros, fissuras e fraturas de solos e rochas (escoamento subterrâneo). No primeiro caso, ela determina o surgimento de bacias hidrográficas que são instrumentos de análise ambiental, fundamentais para entendimento dos fenômenos hidrológicos.

De fato, Tundisi (2003) afirma que a bacia hidrográfica é a unidade adequada para o desenvolvimento de um “processo descentralizado de conservação e proteção ambiental, sendo um estímulo para a integração da comunidade e a integração institucional”, numa visão mais ampla da participação popular. Já Christofolletti (1980), numa visão mais física, afirma que a bacia hidrográfica é uma área da superfície terrestre drenada por um sistema fluvial contínuo, funcionando como um sistema aberto e bem definido, cujos limites ou divisores são estabelecidos pelo relevo.

Rocha e Santos (2018) consideram que além dos fatores climáticos, a variação do fluxo se dá por características naturais, tais como: solo, relevo e cobertura vegetal, intensidade da precipitação e outros, porém, são as ações antrópicas que representam os maiores intervenientes ao se pensar no sistema como um todo.

Nesse contexto, Mota (1995), traz que o disciplinamento do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, unidade básica de planejamento, é o meio mais eficiente de controle dos recursos naturais que a integram. Sendo o uso e ocupação do solo o fator relevante para impermeabilização, por meio de ruas e passeios públicos, bem como internamente aos lotes, há a impermeabilização para as construções das moradias.

A impermeabilização do solo, em geral, causa menor infiltração da água e, portanto, maior escoamento superficial, elevando ainda a velocidade desse escoamento, fazendo com que a vazão extrapole muitas vezes a capacidade de escoamento do sistema de drenagem.

GESTÃO E DRENAGEM SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS

Tucci (2009) corrobora essa afirmação, pois para ele o processo desordenado da ocupação urbana provoca o aumento da velocidade de escoamento das águas pluviais, redução do tempo de concentração na bacia, aumento e antecipação na vazão de pico, sobrecarregando conseqüentemente o sistema de drenagem que até o momento sempre foi pensado para receber e afastar o fluxo de águas pluviais da forma mais rápida possível, transferindo os problemas, como processos erosivos, para as bordas da área urbanizada, ou na região de transição entre o espaço urbano, dotado de sistemas de drenagem construídos, e a área rural incapaz de absorver a vazão despejada em curto espaço de tempo.

Considerando essas condições, far-se-á necessário que sejam traçadas estratégias para adaptação com vistas a atenuar, erradicar danos ou explorar oportunidades para as situações reais ou esperadas num evento climático. Georgeson *et al.* (2016) ressaltam que é necessário acelerar os mecanismos de resiliência nas cidades, principalmente por meio dos formuladores de políticas públicas, que precisam entender a adaptação atual para planejar de forma abrangente e aplicar recursos de forma eficaz. No Brasil as medidas de adaptação adotadas, em geral, são físicas, como a construção de diques, barragens de contenção de cheias, elevação no nível dos aterros e obras de drenagem (MARENGO *et al.*, 2017), fazendo-se necessário que o tecido urbano seja pensado para aumentar a infiltração e retenção das águas pluviais, reduzindo o escoamento superficial e sua velocidade.

INTERVENÇÕES ESTRUTURAIS E NÃO ESTRUTURAIS

Esse novo pensar a drenagem urbana e seus equipamentos é expresso por Tucci e Genz (1995, apud AGRA, 2001), o controle das enchentes é uma ação permanente e que cabe à sociedade como um

todo. Além disso, os autores apontam a importância de não se pensar em uma solução pontual, mas sim de forma contínua e com a participação da população.

Nesse contexto, Agra (2001) destaca alguns dos princípios de controle para uma drenagem urbana consistente, sendo eles:

- Bacia vista como um sistema, onde se deve pensar nos impactos referentes à toda ela, e não somente num ponto crítico isolado;

- Avaliação dos cenários futuros;
- Plano Diretor de Drenagem Urbana;
- Não ampliação da cheia natural;
- Controle permanente;
- Educação ambiental.

De acordo com Tucci (2012), no Brasil não é implantada a ideia de um programa sistemático de controle das inundações, sendo observadas apenas ações isoladas por parte de alguns municípios. O autor ainda aponta que a atenção é voltada às enchentes somente após as suas ocorrências. Tal fato ocorre justamente pela ausência de alguns dos princípios citados por Agra (2001).

Para a gestão da drenagem urbana, tem-se dois aspectos. O primeiro se dá no âmbito da bacia hidrográfica, o qual diz respeito aos impactos externos à cidade, portanto, controlados pelo estado ou pela Federação. Já o segundo se trata dos efeitos internos do município, sendo domínio e responsabilidade do mesmo. No Brasil, não existe uma política de esfera federal que trate do assunto, novamente sendo observadas apenas ações isoladas em determinadas regiões (Tucci, 2012).

Ainda segundo Tucci (1997), as medidas de controle do escoamento podem ser classificadas, de acordo com sua ação na bacia hidrográfica, em:

- ✓ **distribuída ou na fonte:** é o tipo de controle que atua sobre o lote, praças e passeios;
- ✓ **na microdrenagem:** é o controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos;
- ✓ **na macrodrenagem:** é o controle sobre os principais riachos urbanos.

As medidas de controle podem ser organizadas, de acordo com a sua ação sobre o hidrograma em cada uma das partes das bacias mencionadas acima, em:

- ✓ **infiltração e percolação:** normalmente, cria espaço para que a água tenha maior infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial;

- ✓ **armazenamento:** através de reservatórios, que podem ser de tamanho adequado para uso numa residência (1-3 m³) até terem porte para a macrodrenagem urbana (alguns milhares de m³). O efeito do reservatório urbano é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;

- ✓ **aumento da eficiência do escoamento:** através de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado com reservatórios de detenção;

- ✓ **diques e estações de bombeamento:** solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuam espaço para amortecimento da inundação.

Porém a principal tendência é pensar a urbanização com medidas de controle distribuído, com vistas a atingir a sustentabilidade, sendo as principais: o aumento de áreas de infiltração e percolação e o armazenamento temporário em reservatórios residenciais ou telhados.

Segundo Urbonas e Stahre (1993) os principais dispositivos para criar maior infiltração são:

- ✓ **Planos de infiltração:** existem vários tipos, de acordo com a sua disposição local. Em geral, essas áreas são gramados laterais, que recebem a precipitação de uma área permeável, como residência ou edifícios.

- ✓ **Valos de infiltração:** são dispositivos de drenagem lateral, muitas vezes utilizados paralelos às ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais. Esses valos concentram o fluxo das áreas adjacentes e criam condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento.

- ✓ **Bacias de percolação:** dispositivos de percolação dentro de lotes permitem, também, aumentar a recarga e reduzir o escoamento superficial. O armazenamento é realizado na camada superior do solo e depende da porosidade e da percolação.

✓**Dispositivos hidráulicos permeáveis:** existem diferentes tipos de dispositivos que drenam o escoamento e podem ser construídos de forma a permitir a infiltração.

Segundo Almeida (2020) os sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SUDS - *Sustainable Urban Drainage Systems*) surgiram como alternativa à drenagem urbana convencional. O conjunto de técnicas sustentáveis de controle e gestão das águas pluviais vem como possibilidade de aumento da taxa de infiltração das águas de chuva no solo e consequente minimização dos impactos negativos gerados pelo escoamento superficial. Dessa forma, a utilização de tais mecanismos opera diretamente no gerenciamento de riscos de alagamentos nos locais implantados e na conservação da bacia hidrográfica.

De encontro ao sistema convencional, no qual a drenagem das águas pluviais ocorre através de coletores enterrados, os SUDS têm como característica o controle do escoamento superficial na fonte, isto é, o mais próximo possível do local atingido pela precipitação. Assim, reduz-se o escoamento através de tecnologias que auxiliam na evaporação e evapotranspiração, na infiltração no solo e no armazenamento temporário das águas (Toscan Neto, 2019).

Segundo Rezende (2010), os projetos de drenagem sustentável fazem uso de estruturas de controle das águas pluviais em pequenas unidades, reduzindo a necessidade de grandes dispositivos de manejo na calha dos rios. Além disso, o conceito de sustentabilidade é aplicado, também, no que diz respeito à melhoria do ambiente construído e da qualidade de vida urbana.

Os objetivos dos SUDS baseiam-se no princípio de que o gerenciamento do fluxo das águas deve ser realizado a fim de se ter o máximo benefício. Nesse sentido, busca-se reduzir os impactos negativos da urbanização em termos de qualidade e quantidade de escoamento superficial e, simultaneamente, contribuir na oferta de amenidade e biodiversidade ao ambiente (Gonçalves; Nucci, 2017). Tais parâmetros apresentam a mesma importância entre si e a solução ideal visa englobar todos eles. Destaca-se, entretanto, que as vantagens a respeito de cada categoria dependem principalmente do espaço no qual ocorre a implantação.

Nas cidades, o instrumento legal de gestão das águas pluviais é o Plano Diretor de Drenagem Urbana, que é elaborado de acordo com outros planos de ordenação da cidade, como o Plano Municipal de Saneamento e, sobretudo, o Plano Urbanístico Diretor - ao fixar os índices urbanísticos de ocupação do solo urbano (coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação, taxa de permeabilidade, gabarito de altura, dentre outros) -, os quais devem dar prioridade para os elementos que buscam se adequar às novas realidades do pensar a cidade, o meio urbano, a bacia hidrográfica e a relação destas áreas com as de seu entorno (Tucci, 2012).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Diante da necessidade de realizar um planejamento adequado para os próximos anos, pensando nos problemas existentes em suas diversas escalas (local, regional, estadual, federal, global), no contexto das mudanças climáticas e futuros cenários de enfrentamento para os quais os municípios devem se adequar, voltou-se o olhar para a problemática dos alagamentos, problema recorrente nas áreas urbanas brasileiras. Dessa forma, decidiu-se investigar as possíveis causas dessas ocorrências para que o Poder Público não combata apenas as consequências do problema.

Neste sentido, a presente seção reúne os materiais e métodos utilizados no trabalho, que permitiram a geração de resultados para o estudo da permeabilidade dos solos nos lotes de uma sub-bacia hidrográfica localizada na cidade de Presidente Venceslau.

MATERIAIS

Para o trabalho de aquisição dos dados e representação do espaço - e fazer a leitura técnica da cidade -, foram utilizadas diferentes bases de dados espaciais, com modelos vetoriais e modelos matriciais. Dentre os matriciais, destacam-se o ortofotomosaico disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Presidente Venceslau, imagem que apresenta 7 cm de resolução espacial, datada do ano de 2022. Além disso, a prefeitura forneceu bases cartográficas que foram vetorizadas a partir do ortofotomosaico, também do ano de 2022, correspondentes aos lotes, quadras e rede de drenagem do Município. Vale destacar que um ortofotomosaico com resolução espacial de 7 cm pode apresentar a qualidade que corresponde a uma escala 1:1.000, mas a equipe não teve acesso ao relatório de processamento e controle de qualidade do referido produto, o qual deveria apresentar um Erro Padrão Inferior a 0,17 cm, aproximadamente três vezes o tamanho do GSD (*Ground Sample Distance*).

Outro órgão público bastante importante no fornecimento de dados espaciais para este projeto foi o IGC-SP (Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo), o qual dispôs de produtos como MDT (Modelo Digital de Terreno) e rede de drenagem restituída a partir de ortofotos em escala 1:10.000, todos originados no ano de 2010. O Modelo Digital de Terreno se apresenta com precisão altimétrica que tem a Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático, RMSE (*Root Mean Square Error*), menor ou igual a 1,35 m para altimetria, para produtos em escala 1:10.000.

Por fim, para o processamento desse volume de dados, houve a necessidade de utilizar um ambiente computacional eficiente, sendo assim, optou-se pelo uso do ArcGIS Pro, versão 3.1, propriedade da empresa ESRI (*Environmental Systems Research Institute*). Este software trata de um ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) que permite o processamento, análise, visualização, consulta e representação de dados espaciais. Seu uso foi de extrema importância, visto que garantiu a geração de novas bases cartográficas e a análise espacial da área de estudo de forma simplificada.

DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O primeiro passo consistiu na determinação da área de estudo para o desenvolvimento do trabalho. Tal etapa foi feita por indicação direta da própria prefeitura municipal, que durante reunião, informou por meio de seus representantes que a região do bairro Jardim Eldorado sofria com alagamentos em dias de chuva. Sendo assim, tomou-se como unidade de planejamento a sub-bacia hidrográfica onde esta região se encontra.

Segundo a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a bacia hidrográfica é tida como unidade territorial fundamental para planejamento de assuntos que envolvam a gestão ambiental. No caso deste trabalho, a bacia objeto de estudo está antropomorfizada com urbanização consolidada em loteamentos. As parcelas, em sua maioria, já estão devidamente ocupadas com edificações.

ANÁLISE DE BACIA HIDROGRÁFICA

Com o conhecimento da área de estudo, o passo seguinte consistiu em delimitar a bacia hidrográfica em ambiente computacional. Para isso, o MDT original deve, inicialmente, passar por tratamento para a eliminação de sumidouros e escarpas, que correspondem a declives muito acentuados. No ArcGIS Pro foi possível solucionar este problema utilizando a ferramenta “*Fill*”, gerando ao final, um MDT completo. A partir deste último é feita a geração de um raster de direção de fluxo, o qual indica, por meio de suas células, a direção em que a água irá percorrer para fora de cada célula (Chang, 2018). Para a construção deste produto foi utilizada a ferramenta “*Flow Direction*”.

Como parâmetro no processamento da direção do fluxo, foi utilizado o algoritmo D8, porque modela a direção do fluxo de cada célula para seu vizinho mais inclinado. O referido algoritmo atribui a direção do fluxo de uma célula a uma das oito células circundantes que possui o gradiente ponderado pela distância mais íngreme (O’Callaghan; Mark, 1984). O resultado é um matricial com valores inteiros, cujos valores variam de 1 a 255. No entanto, pelo fato de ter sido considerado apenas os pontos cardeais e os pontos colaterais, o resultado de cada célula pode corresponder a um valor que indica até oito direções (norte, sul, leste, oeste, nordeste, sudoeste, noroeste, sudoeste).

Em seguida, partiu-se para a geração do matricial de acúmulo de fluxo, o qual tem como resultado a quantidade de células que fluem para outra célula (Chang, 2018). Sua realização pode ser dada utilizando a ferramenta “*Flow Accumulation*”. E com este, foi possível construir um raster de rede de drenagem que exhibe canais responsáveis pelo escoamento da água, sendo sua geração dada por meio da ferramenta “*Conditional*”, baseada em álgebra de mapa. Foram selecionadas apenas as células que possuem mais de 1.000 células acumuladas de modo que resultasse em uma rede que não fosse altamente densa e que tivesse similaridade com os trechos de drenagem produzidos por restituição fotogramétrica, pelo IGC-SP, em escala 1:10.000.

Antes de obter a bacia, ainda é necessário obter o raster de ligação de drenagem, o qual é responsável por apresentar a ligação entre todas as linhas da rede de drenagem. Nesse sentido, cada segmento de linha no raster precisa de um valor único associado com uma direção de fluxo: as intersecções e as seções podem ser comparadas com nós e trechos em uma base cartográfica de rede baseada em topologia (Chang, 2018). No ArcGIS Pro a ferramenta “*Stream Link*” permite sua obtenção.

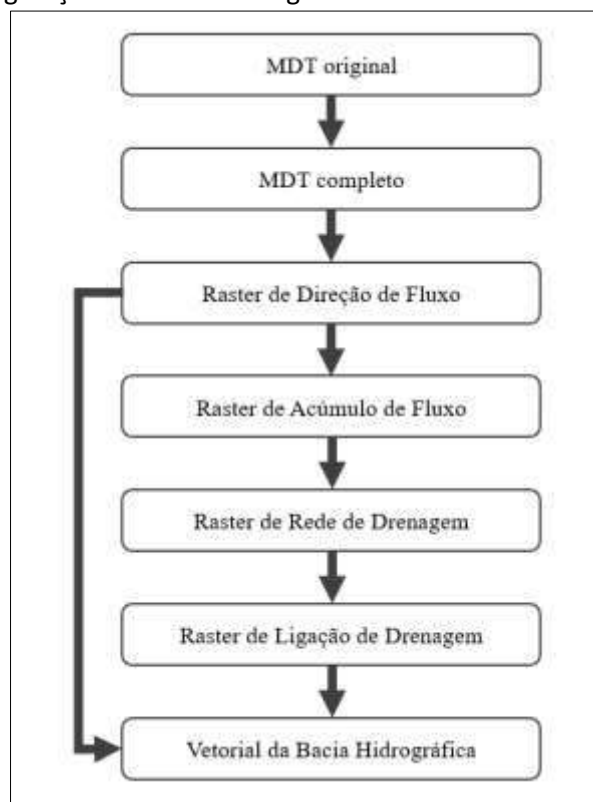
Após a geração de todos estes produtos intermediários, foi feita a delimitação da bacia hidrográfica por meio da ferramenta “*Watershed*”, que pode considerar um exutório específico ou ser feito por área. Para o trabalho foi utilizado um ponto de exutório na sua delimitação, de modo que pudesse contemplar partes dos três bairros considerados, sendo o Jardim Eldorado, o Residencial Azenha e o Jardim Coroados.

O processo descrito para a geração semiautomática de bacias hidrográficas é ilustrado na Figura 1, a qual resume todos os passos descritos anteriormente.

DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS PERMEÁVEIS

Depois de delimitada a área de estudo foi necessário identificar e delimitar as áreas permeáveis, de modo a tornar possível o estudo da permeabilidade dos solos. A determinação destas áreas se deu de forma manual no ambiente do ArcGIS Pro no qual, foi fundamental que a ortofoto estivesse georreferenciada corretamente, alinhando-se com o sistema de coordenadas SIRGAS 2000, sistema de projeção UTM, zona 22, hemisfério Sul. Além da ortofoto, outros dados relevantes, como limites de lotes, vias e meio-fio, foram adicionados para fornecer contexto à análise.

Figura 1. Fluxograma para a geração de bacias hidrográficas.



Fonte: (Autores, 2023).

No ambiente do software tornou-se necessária a criação de uma nova base cartográfica destinada a armazenar as áreas permeáveis que foram vetorizadas. Essa base foi configurada com atributos essenciais, como identificação e área. Tal etapa é crucial para a organização dos resultados da análise.

Com a ortofoto como base para a referência visual, foi feito um trabalho cuidadoso de vetorização manual das áreas permeáveis. Para maior precisão, a imagem foi ajustada para uma escala entre 1:80 e 1:100, permitindo a vetorização detalhada das áreas permeáveis em cada lote. O uso de recursos de ampliação de escala auxiliou no detalhamento preciso das áreas permeáveis, garantindo que a vetorização fosse o mais fiel possível à realidade.

Utilizando ferramentas de edição do ArcGIS Pro, como a “*Create Features*”, os polígonos que delimitam as áreas permeáveis puderam ser desenhados cuidadosamente. Após a conclusão da vetorização, as edições foram salvas e esta fase foi encerrada. Em seguida, os dados digitalizados passaram por um processo de validação, assegurando que todas as áreas estivessem corretamente representadas.

CÁLCULO DA PERMEABILIDADE DO SOLO POR LOTE

Com a identificação e delimitação das áreas permeáveis, o passo seguinte consistiu em analisar quanto a permeabilidade do solo. Tal análise tratou de um processo moroso de mensuração das áreas, em metros quadrados, das áreas permeáveis e de seus respectivos lotes, de modo a verificar se as áreas identificadas alcançam o mínimo de 10% de toda a extensão do lote, assim como está previsto na lei vigente, que é o Plano Diretor de 2011. A Equação 1 mostra como é feito o cálculo da permeabilidade do solo por lote.

$$TP = \frac{AP}{AL} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

- TP representa a taxa de permeabilidade em valor percentual;
- AP representa a área permeável (em m²) vetorizada na etapa anterior;
- AL representa a área total do lote (em m²).

De modo a auxiliar neste processo, três classificações foram criadas: lotes que respeitam a lei (RL), lotes que não respeitam a lei (NRL) e lotes que estão ociosos (O). No primeiro grupo, o lote recebeu em sua tabela de atributos a letra S, no segundo grupo a letra N, e no terceiro a letra V.

Sendo assim, após medir a área de um lote e a área permeável em seu interior, e realizar o cálculo da taxa de permeabilidade, sua tabela de atributos receberia uma das três classificações.

Vale destacar que a taxa de permeabilidade de cada lote, de diferentes dimensões, é encontrada a partir da multiplicação da área do lote por 100, uma vez que a taxa mínima de permeabilidade (TMP), na lei local, é definida em percentual, por parcela.

A partir disso, foi possível construir três representações cartográficas. A primeira trata de delimitação da sub-bacia de estudo, bem como das áreas permeáveis que se encontravam no interior dos lotes (incluindo lotes ociosos). A segunda representação trata da situação dos lotes (lote que respeita a lei, lote que não respeita a lei, lote ocioso). A terceira representação mostra o percentual de lotes dentro das quadras que respeitam a lei de permeabilidade do solo.

LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO

Por fim, para a devida complementação dos estudos realizados, foram feitas visitas ao local, identificando e registrando a presença de elementos visíveis do sistema de drenagem de águas pluviais para permitir a comparação e complementação das informações disponibilizadas pela Prefeitura Municipal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na presente seção são apresentados os resultados referentes ao cumprimento da lei de permeabilidade do solo, bem como resultados intermediários que auxiliaram na delimitação da sub-bacia hidrográfica.

A representação cartográfica mostrada na Figura 2 destaca o contorno da bacia hidrográfica, área de estudo do presente trabalho, e indica as áreas permeáveis dentro dos lotes ocupados (pequenos espaços dentro dos lotes). Cabe ressaltar que as áreas verdes e as glebas (áreas não loteadas) não foram consideradas.

De modo geral, se observa que a metodologia de criação da bacia hidrográfica garantiu a geração de resultados satisfatórios, haja vista que permitiu a delimitação da área de estudo, incluindo toda a região especificada pela Prefeitura Municipal. O mesmo se observa quanto a identificação das áreas permeáveis, as quais se encontram vetorizadas com boa qualidade posicional.

Figura 2. Delimitação da área de estudo e vetorização das áreas permeáveis.



Fonte: (Autores, 2023).

Uma análise mais detalhada exhibe três situações de como os lotes se encontram na sub-bacia que contempla partes dos três bairros considerados neste trabalho, sendo o Jardim Eldorado, o Residencial Azenha e o Jardim Coroados: lotes vazios, lotes ocupados que respeitam a lei e lotes ocupados que não respeitam a lei (Figura 3). A classe de lote ocioso, considera a possibilidade de que poderão ser pavimentados a qualquer momento, mas que no instante de tomada das fotografias aéreas se encontravam ociosos.

Figura 3. Situação dos lotes quanto à permeabilidade: Respeitam a Lei (RL) ou Não Respeitam a Lei (NRL).

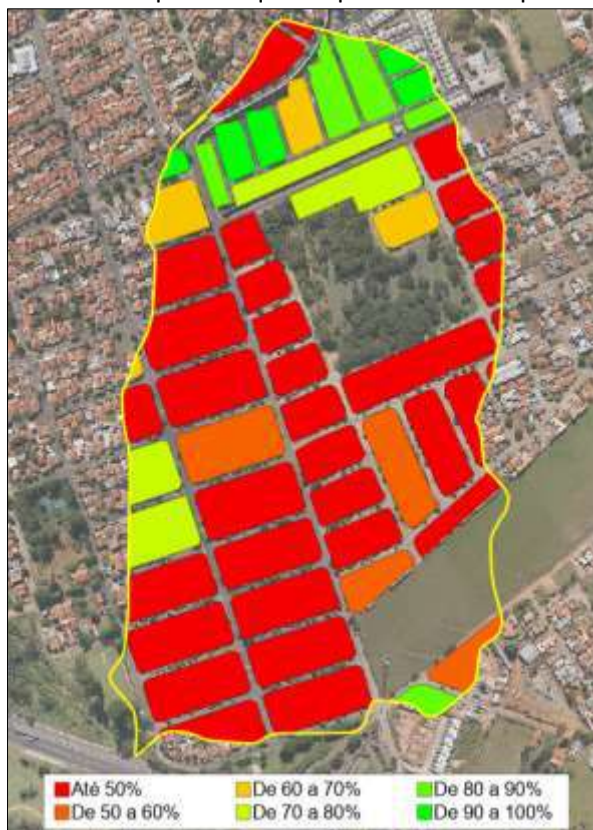


Fonte: (Autores, 2023).

De maneira geral, se observa pela Figura 3 que a grande maioria dos lotes que atendem a lei, representados em verde, se encontram na região norte da área de estudo, em um condomínio instalado recentemente. Por outro lado, mais ao sul, se encontram a maioria dos lotes contrários à lei, representados em vermelho, localizados em locais que vêm apresentando problemas ambientais, tais como alagamentos. É possível que uma falta de fiscalização possa reverter o cenário atual da região mais ao norte, tal como acontece mais ao sul, porque na medida que o tempo passa a permeabilização parece ser uma tendência.

Para auxiliar na análise, a representação com base nas quadras, assim como se visualiza na Figura 4, contempla o percentual de lotes, dentro de cada quadra, que respeita a lei. Exemplificando, a cor vermelha indica que até 50% dos lotes daquela quadra não respeitam a lei, enquanto que em verde estão as quadras em que, de 90 a 100% dos lotes em seu interior, respeitam a lei.

Figura 4. Percentual de lotes dentro das quadras que respeitam a lei de permeabilidade do solo.



Fonte: (Autores, 2023).

Assim como mostrado na Figura 3, esta nova representação, presente na Figura 4, evidencia novamente uma concentração de quadras com lotes irregulares nas regiões mais ao sul, oeste e centro da área de estudo.

Conhecendo a relação direta existente entre a falta de permeabilidade do solo (impermeabilização crescente) e alagamentos (cada vez mais intensos), devido à limitação da capacidade de drenagem da água da chuva, é possível a intervenção do Poder Público: a água tende a se acumular com mais facilidade na superfície, causando tais problemas chamados “ambientais” mas que, na verdade, são derivados da falta de planejamento ambiental, da carência de meios para evitá-los ou atenuá-los, o que é possível.

Sendo assim, a análise espacial e o geoprocessamento se mostram ferramentas necessárias nas mãos de gestores públicos para a tomada de decisões visando garantir qualidade de vida aos cidadãos. Não se pode permitir que a urbanização intensa atenda apenas o interesse dos proprietários dos lotes (como ocorre na área em estudo) e desconsidere o interesse público na manutenção da segurança coletiva e da qualidade de vida urbana. O meio ambiente, inclusive o meio ambiente urbano (mero aspecto daquele) também deve ser “ecologicamente equilibrado” tal como determina a Constituição Federal no art. 225. Porém, não é isto que as representações cartográficas relevam.

A título exemplificativo apenas, do levantamento da situação local foram feitos registros de elementos aparentes do sistema de drenagem existente, como pode ser visualizado na Figura 5. Na referida figura, pode-se verificar o funcionamento das valetas existentes com escoamento superficial das águas pluviais. Adicionalmente, destaca-se a existência das bocas de lobo, elementos de captação das águas pluviais e condução destes para a tubulação que faz o afastamento deste fluxo, retirando-o da superfície das vias.

Figura 5. Registro fotográfico de bocas de lobo instaladas na área.



Fonte: (Autores, 2023).

Todos os elementos do sistema de microdrenagem encaminham o volume de águas para a travessia existente na Rodovia Raposo Tavares, altura do Km 621, como pode ser verificado na Figura 6.

Da imagem destacada na Figura 6, depreende-se que a vazão de água que chega para transpor a travessia da rodovia é de grande porte e não há ligação entre um e outro, propiciando condições para que o fluxo extravase antes da travessia, podendo causar inúmeros problemas de tráfego, como já verificados no trecho, causando até mesmo a interrupção do trânsito de veículos.

Figura 6. Desemboque do sistema de drenagem da sub-bacia em estudo e travessia da Rodovia Raposo Tavares.



Fonte: (Autores, 2023).

Por fim, na Figura 7 é apresentado um recorte da carta de sistema de drenagem instalado na área de estudo, na qual destacam-se duas situações, quais sejam: 1 – a travessia da rodovia existente, que na planta não traz a informação que anteriormente à transposição há uma lacuna nos condutos; 2 – o trecho entre as Ruas Assad João e Carlos Buck, onde a rede de drenagem de 1 m de diâmetro nominal passa sob o lote que se encontra ocupado.

Figura 7. Recorte de planta do sistema de drenagem existente.



Fonte: (Autores, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi exposto acima - em estudo de forte base interdisciplinar (reunindo Engenharia Cartográfica, Engenharia Ambiental e Direito) - é possível afirmar que:

1. A taxa mínima de permeabilidade do lote não é obedecida pelos proprietários no Jardim Eldorado, que foi a área da sub-bacia de estudo;
2. Existe uma relação direta entre impermeabilidade do lote – e, por extensão, da cidade, com suas estruturas – e ocorrência de impactos negativos e destruidores causados pelo fenômeno das chuvas intensas;
3. A impermeabilização do solo impede a drenagem superficial fazendo com que toda a água da chuva seja destinada ao sistema público que, muitas vezes, não tem capacidade para suportá-la diante sobretudo das mudanças climáticas;
4. A Prefeitura deveria, dentro da política ambiental - que é política pública determinada pela Constituição Federal -, efetuar um processo amplo de remoção do pavimento impermeável do solo urbano (no limite da lei) e, no âmbito desse processo, fiscalizar atentamente o cumprimento da TMP no interior dos lotes já ocupados para combater as causas do problema;
5. A tecnologia cartográfica é um instrumento fundamental para conhecer e desvendar a realidade de grandes agregados espaciais, antropomorfizados, e, assim, determinar diretrizes espaciais e ambientais para o Poder Público. A Cartografia é necessária tanto para conhecimento da realidade (função cognitiva) quanto para intervenção nela (função prospectiva).
6. Recomenda-se por fim que o estudo executado de forma piloto em uma bacia seja ampliado e remodelado avançando no estudo da questão da gestão das águas pluviais e que, novo planejamento seja apresentado considerando as propostas da visão da gestão e drenagem sustentável das águas pluviais, bem como as alterações que poderão ser causadas pelas mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

À Prefeitura Municipal de Presidente Venceslau que proporciona, condições para o desenvolvimento dos trabalhos e de crescimento do aprendizado dos alunos ao mesmo tempo em que permite uma leitura técnica da cidade.

REFERÊNCIAS

AGRA, S. G. **Estudo experimental de microrreservatórios para controle de escoamento superficial**. 2001. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ALMEIDA, I. C. **Sistemas Sustentáveis de drenagem urbana: estudo de caso na bacia hidrográfica do córrego São Pedro em Juiz de Fora-MG**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 2020.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Alternativas organizacionais para gestão de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2013.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**.

BRASIL. **Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 1 dez. 2023.

BRASIL. **Lei n 10.257 de 10 de julho de 2001** – Estatuto da Cidade.

CASTILHO, J. R. F. **Convite ao direito urbanístico e ao direito fundiário**. São Paulo: Pillares, 2021.

CHANG, K.-T. **Introduction to Geographic Information Systems**. 9. ed. Boston: McGraw-Hill, 2018.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: E. Blucher, 1980.

EYTON, J. R. Rate of Change Maps. **Cartography and Geographic Information Systems**, v. 8, n. 2, p. 87-103, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1559/152304091783805518>

FUNASA. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Plano Municipal de Saneamento Básico. Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. 2016.

GEORGESON, L.; MASLIN, M.; POESSINOUW, M.; HOWARD, S. **Adaptation Responses to Climate Change Differ between Global Megacities**. *Nature Climate Change*, v. 6, p. 584-588, 2016 DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2944>

GONÇALVES, F. T.; NUCCI, J. C. **Sistemas de drenagem sustentável (SUDS): propostas para a bacia do Rio Juvevê, Curitiba-PR. Ra'e Ga**, Curitiba, v. 42, p. 192-209, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v42i0.47043>

IMHOF, E. **Cartographic relief presentation**. 1. ed. Redlands: ESRI Press, 2007.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISAS APLICADAS E ECONÔMICAS. **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Brasília: Ipea, 2011.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.

MARENCO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2007.

MILARÉ, É. **Direito do ambiente**. 9. ed. São Paulo: RT, 2014.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. **The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data**. *Computer Vision. Graphics and Image Processing*, v. 28, p. 323-44, 1984. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(84\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(84)80011-0)

REZENDE, O. M. **Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais aplicado à Baixada Fluminense**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

- ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. **Análise hidrológica em bacias hidrográficas**. Mercator (Fortaleza), v. 12, p. 1-18, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2018.e17025>
- SOARES, F. B. **Planejamento e zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do manancial Balneário da Amizade nos municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente - São Paulo/Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015.
- SLOCUM, T. A.; MCMASTER, R. B.; KESSLER, F. C.; HOWARD, H. H. **Thematic Cartography and Geovisualization**. 3.ed. Upper-Saddle River, NJ: Prentice-Hal, 2009.
- TOSCAN NETO, A. **Simulação de sistemas de drenagem urbana sustentável aplicada em um loteamento urbano utilizando o EPA SWMM**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.
- TUCCI, C. E. M. Água no Meio Urbano. *In: Água Doce*. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1997. Cap. 14.
- TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle da Urbanização. *In: Drenagem Urbana*. São Paulo: Ed. Universidade ABRH, 1995.
- TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001.
- TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. CEPAL, Brasília, 2012.
- TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. *In: TUCCI, C. E. M; PORTO, R. L. L; BARROS, M. T (org.). Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, 1995a. cap. 1, p. 15-29.
- TUCCI, C. E. M. Urbanização e Recursos Hídricos. *In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (org.). Águas do Brasil: Análises Estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. cap. 7, p. 113-128.
- TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RIMA, 2003.
- URBONAS, B.; STAHR, P. **Storm water Best Management Practices and Detention**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.