

## Cidades sensíveis à água: cidades verdes ou cidades compactas, eis a questão?

ANDRADE, Liza Maria Souza de Andrade<sup>1</sup>  
BLUMENSCHIN, Raquel Naves<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. lizamsa@gmail.com

<sup>2</sup>Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. raquelblum@terra.com.br

### Resumo

Este artigo apresenta resultado de pesquisa que tem como objetivo analisar a dicotomia existente nas visões sobre cidades sustentáveis para o equilíbrio do ciclo da água urbano. De um lado há o modelo de “cidades verdes”, que defende a preservação de grandes áreas verdes de baixas densidades para a infiltração de água; do outro há o modelo de “cidades compactas”, que preconiza o “crescimento inteligente” em áreas já ocupadas com densidade mais alta. O método de análise utilizado compara os dois modelos e parte inicialmente do estudo sobre o ciclo hidrológico com foco no ciclo da água urbano apresentado pela Unesco e no desenho urbano sensível à água fundamentado no programa WSUD Australiano. Tendo como base os resultados da análise comparativa foram identificadas as melhores práticas de gestão das águas pluviais tendo como referência documento da EPA, que sugere que o desenvolvimento de maior densidade poderia proteger melhor a qualidade da água regional com o consumo menor de terra e propondo práticas de gestão das águas pluviais de acordo com contextos e densidades. Neste sentido, defende-se a importância de se trabalhar a dualidade dos dois modelos: as vantagens do crescimento compacto no desenho urbano das áreas intraurbanas, com preenchimento das áreas menos densas, e as práticas do desenvolvimento urbano de baixo impacto nas áreas verdes e nas áreas ambientalmente sensíveis.

**Palavras-Chave:** ciclo da água urbano, cidades verdes, cidades compactas, cidades sensíveis à água, gestão das águas pluviais.

### Abstract

*This paper presents the results of a research which aims to examine the dichotomies which exist in the point of views on sustainable cities for the balance of the urban water cycle. On one side there is the model of “green cities”, which advocates the preservation of large green areas with low occupation densities, for water infiltration; and on the other, there is the model of “compact cities”, which calls for “smart growth” in already occupied areas with higher density. The proposed method of analysis compares the two models and initially started with the study on the hydrological cycle focusing on urban water cycle presented by UNESCO and water sensitive urban design program based on the Australian WSUD. Based on the results of the comparative analysis there has been identified the best practices for managing storm water using as reference the document from EPA/EUA which suggests that the development of higher density areas could better protect the regional water quality with lower consumption of land and proposes best practices for storm water management according to contexts and densities. In this sense, it is defended the importance of working the duality of the two models: the advantages of compact growth in urban design areas intraurbans to fill the less dense areas and the practices low-impact urban development in green areas and environmentally sensitive areas.*

**Keywords:** urban water cycle, green cities, compact cities, water sensitive cities, storm water management.

## 1. Introdução

Este artigo apresenta resultados de pesquisa que tem como objetivo investigar e discutir a relação do desenho urbano e o ciclo da água urbano na perspectiva de promover o pensamento para “cidades sensíveis à água”, considerando as necessidades complexas do desenvolvimento urbano sustentável frente às mudanças climáticas, à poluição e escassez de águas e às desigualdades sociais. O foco da discussão parte da dicotomia existente nas visões de cidades sustentáveis entre o modelo de “cidades compactas” e o modelo de “cidades verdes” para o equilíbrio do ciclo da água nas cidades.

Um dos grandes desafios para os planejadores do espaço urbano está em conciliar as demandas para a sobrevivência do ser humano (água, energia, produção de alimentos, abrigos e tratamento de resíduos) de forma sistêmica com densidades de ocupação e seus benefícios sociais em equilíbrio com os processos naturais como o ciclo da água urbano.

As previsões do relatório “Panorama das Cidades e da Biodiversidade” de 2012 indicam que a população mundial em 2050 chegará a 9 bilhões e 6,3 bilhões de pessoas morarão em cidades. Segundo o relatório, as áreas urbanas estão expandindo mais rapidamente que as populações urbanas, assim, se continuar neste ritmo, o território urbano aumentará entre 800 mil e 3,3 milhões de quilômetros quadrados até 2030.

Nas palavras do secretário executivo da Convenção sobre Diversidade Biológica da COP 11 “A forma como as cidades são projetadas, a forma como as pessoas vivem nelas e as decisões políticas das autoridades locais definirão a sustentabilidade global futura”<sup>1</sup>.

O crescimento urbano terá impactos significativos na biodiversidade, nos “habitats” naturais e nos muitos serviços dos ecossistemas dos quais a sociedade depende.

As modificações antrópicas que ocorrem na paisagem para implantação de cidades afetam diretamente o ciclo hidrológico, alterando os caminhos por onde a água circula (SILVA, 2011), através dos processos de infiltração e escoamento, precipitação e recarga de aquíferos. Na Figura 1, na foto da maquete da cidade de Zaragoza na Espanha, apresenta-se uma ilustração do padrão de ocupação urbana e a sua relação com os recursos hídricos.

Figura 1: Maquete do desenho da cidade de Zaragoza e o seu principal curso d’água, o Rio Ebro.



Fonte: Liza Andrade.

A concentração de pessoas em áreas urbanas drasticamente altera fluxos de água, sedimentos, substâncias químicas e micro-organismos, e aumenta a emissão de calor residual (UNESCO, 2008).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas adverte que, mantidas as atuais taxas de emissão de gases de efeito estufa, é provável que as temperaturas globais médias aumentem em 4°C até 2030. Neste sentido, as áreas verdes urbanas serão fundamentais para a mitigação dos efeitos advindos do aquecimento global.

De acordo com Tucci e Mendes (2006), a interface entre solo-vegetação-atmosfera tem uma forte influência no ciclo hidrológico, associados à complexidade dos processos naturais e à interferência humana que age sobre esse sistema natural.

A expansão urbana voltada para o uso de automóveis leva à construção de vias, estacionamentos e outras superfícies impermeáveis, que ocasionam problemas de enchentes, congestionamentos de trânsito, alto consumo de energia, emissão de gases de efeito estufa e poluição generalizada.

Em áreas residenciais, por exemplo, a malha viária é a principal responsável pelo aumento de volume e carga de poluentes de origem difusa. Já em áreas comerciais os telhados e estacionamentos são os maiores contribuintes pelo acúmulo de cargas poluentes de deposição atmosférica e emissão de veículos (PSAT & WSU, 2005).

Segundo Tom Shueler<sup>2</sup> do Centro de Proteção à Bacia Hidrográfica da Cidade de Ellicott em Maryland nos EUA, os problemas das águas

1 Bráulio Dias, secretário da Convenção sobre Diversidade Biológica na 11ª Conferência das Partes sobre Biodiversidade (COP 11), Outubro de 2012.

2 Dados de Tom Shueler do “Center for Watershed Protection” <http://www.cwp.org/>. Maryland, EUA. <http://chesapeakestormwater.net/about/the-team/>

pluviais são também um problema do grande uso do automóvel, 2/3 de toda cobertura impermeabilizada é para proporcionar “habitat” para carros, estacionamento, calçadas, rodovias e autoestradas (AUBARCH, 2010, p.5).

Sob a ótica dos processos hidrológicos, o sistema de drenagem urbana da cidade, bairro ou região abrange não só as redes designadas para o fluxo de águas pluviais, mas também todas as superfícies e reservatórios de água dentro da bacia: estradas, faixas de servidão, vias, calçadas, telhados parques, jardins, florestas, solo, fundos de vale, canais e lagoas. Estes elementos fazem parte do desenho urbano e podem ser projetados para produzir uma mudança no escoamento e ao mesmo tempo funcionar como um filtro de poluentes antes de entrar no sistema maior da cidade e do entorno (SPIRN, 2011).

No decorrer do século XX, o planejamento e desenho das cidades apresentaram duas vertentes. Uma, o modo compacto com densidades mais altas, caracteriza-se pela concentração de atividades e do habitat com predominância de edificações altas e concentradas e menos áreas verdes; a outra, o modo disperso com densidades mais baixas, representado pelos subúrbios verdes para as classes de renda mais alta e periferias empobrecidas com distanciamento do habitat do lugar do trabalho, das escolas, do comércio, dos serviços públicos, dos centros de lazer que inviabilizam o transporte público e encarece a infraestrutura urbana.

No entanto, para a questão do ciclo da água urbano é necessário repensar os dois modelos. A abordagem tradicional para o manejo das águas urbanas tem contribuído para aumentar os prejuízos financeiros, ambientais, estéticos, à saúde, e, sobretudo, à qualidade de vida da população. O crescimento das cidades dos países em desenvolvimento ainda se baseia em modelos ultrapassados com a massiva impermeabilização do solo e canalizações artificiais (TUCCI, 2008).

De acordo com Gorski (2010) e Tucci e Mendes (2006), ainda adotamos medidas estruturais com visão pontual dos sistemas tradicionais de drenagem, como as canalizações de curso d’água sem avaliar as consequências dessas obras, que acabam aumentando as vazões e a frequência de inundações. Tais sistemas são incapazes de abranger a complexidade do ciclo hidrológico, sistemas que já foram abandonados há mais de 30 anos por países desenvolvidos.

Segundo Tucci (2008, p. 8), este processo foi comum em todas as cidades até a década de 70, o que caracterizou o “período higienista” na gestão

das águas urbanas. Os anos entre 1970 e 1990 caracterizaram um “período Corretivo”, principalmente nos países desenvolvidos, onde o principal foco foi o controle do impacto causado pelos tradicionais sistemas de drenagem. Apenas a partir da década de 90 medidas sustentáveis foram incorporadas à gestão de águas urbanas, nas quais a ocupação urbana respeita os mecanismos naturais de escoamento e o impacto a jusante é minimizado.

De acordo com Aurbach (2010), nos países desenvolvidos como os EUA, no período pós-guerra com o “boom” de construções e expansão das cidades, pesquisadores e agências governamentais começaram a perceber os impactos das águas pluviais da rápida ocupação de dispersão urbana. Em levantamentos realizados, pesquisadores encontraram que os padrões de ocupação suburbanos contribuíram para o agravamento de inundações e impactos ambientais como erosões, desmoronamentos, além do que tinha sido previsto nas regulações.

Assim, no início dos anos de 1970 foram desenvolvidas novas diretrizes de mitigação e novas técnicas para amortecer e armazenar as águas pluviais como canais de infiltração, lagoas de retenção e preservação de grandes espaços abertos nas cidades. A partir dos anos 1990, isto se tornou onipresente nas regulações das águas urbanas e o pensamento dominante tem sido contra a ocupação urbana de densidades mais altas, reforçando o processo de suburbanização.

Segundo Hill (2009), várias regiões dos Estados Unidos tornaram-se líderes internacionais na proposição e implementação de abordagens de novo design para sistemas de águas urbanas, com ênfase em mudar a forma como lidar com o escoamento de água da chuva nas cidades. As soluções mais sustentáveis já adotadas em alguns países desenvolvidos reconhecem os ecossistemas como mecanismos de controle e tratamento de águas pluviais de forma difusa e integrada às demais atividades urbanas.

Cidades como Seattle e Portland estão se tornando exemplos de cidades de baixo impacto no ciclo da água no meio urbano, chegando a uma redução do escoamento superficial até 99% em alguns trechos da cidade (Hill, 2009).

**Figura 2:** Taner Spring Park – Portland



Fonte: Gabriela Tenório.

Algumas estratégias de desenho urbano como praças com lagoas de retenção e retenção, mudança para um traçado sinuoso da via, implantação de milhares de arbustos integrados aos dispositivos de controle das águas pluviais e plantio de centenas de árvores nas vias reduziram o escoamento superficial e a velocidade dos automóveis, conferindo maior segurança e amenidades relacionadas à presença de vegetação. A figura 2 apresenta um exemplo em Portland, EUA.

Na análise de Souza, Cruz e Tucci (2012) os sistemas que mais avançaram neste sentido foram as abordagens: americana LID (Low Impact Development); australiana WSUD (Water Sensitive Urban Design) e a abordagem britânica de Sustainable Drainage Systems (SuDS). Nos EUA, a utilização de LID é originária do Maryland Department of Environmental Resources, mais especificamente do condado de Prince's George, ainda da década de 90.

O LID, Low Impact Development dos EUA, é um programa de regulação das águas urbanas que teve início no final da década de 1990 com o objetivo de estimular a função da água da chuva que o local possuía em seu estado natural antes de sofrer intervenção antrópica. As técnicas utilizadas como telhados verdes, cisternas, jardins de chuva, pavimentos permeáveis e canais de infiltração são geralmente menos onerosas que as práticas convencionais e, geralmente, têm um desempenho melhor.

Para muitos pesquisadores e praticantes o LID representa a essência do urbanismo sustentável. Neste caso, o modelo de cidade sustentável é considerado o modelo de “cidade verde”. São utilizadas muitas plantas, árvores e arbustos que fazem a cidade mais bonita, proporciona habitat para a vida natural, e ajuda a limpar o ar e a água, e possibilita a implantação de jardins, pomares e hortas comunitárias.

Porém, Aubarch (2010) adverte que esse modelo de “cidades verdes” teve consequências negativas não intencionais ou indiretas na promoção da dispersão urbana (sprawl), implicando em cortes do solo e, conseqüente, da vegetação nativa com prejuízos para a saúde das bacias hidrográficas bem como para a qualidade dos lugares urbanos. As regulações de engenharia na gestão das águas urbanas consideraram os empreendimentos mais compactos como uma desvantagem que acabam por promover, não intencionalmente, padrões de empreendimentos dispersos que podem gerar riscos a bacia hidrográfica.

Na sua visão a melhor maneira de reduzir os impactos das águas pluviais é desenhar a densidade urbana de maneira adequada, conjuntamente com o planejamento regional ambiental que preserva o solo natural existente, de acordo com o “transecto<sup>3</sup>”, uma seção transversal do meio urbano passando pelo meio rural até o meio natural, ilustrado na Figura 3.

**Figura 3:** Ilustração do “transecto”, seção transversal do contexto.



Fonte: Smart Code - Smarth Growth

Há que se pensar nos benefícios do modelo de cidade compacta que promovem o encontro de pessoas nos espaços públicos por meio de concentração de edifícios e atividades próximas com caminhos para pedestres e bicicletas e facilidade para o uso de transportes públicos. Para tanto, torna-se necessário aprofundar estudos complexos e transdisciplinares sobre a gestão do ciclo da água urbano nas escalas urbanas, considerando duas principais fontes de água na cidade: precipitação e abastecimento.

O conceito total de “Gestão do Ciclo da Água Urbano” foi introduzido na Austrália (UNESCO, 2008) e demonstra a conectividade e interdependência dos recursos de água urbana e atividades humanas, e a necessidade de gestão integrada.

3 A ferramenta desenvolvida por meio da estrutura em “transecto” do Novo Urbanismo americano é um conceito trazido da ecologia, uma progressão através de uma sequência de habitats, tais como das terras úmidas para o planalto e para as colinas. No âmbito urbano, é uma seção transversal da cidade na qual são identificadas as intensidades do uso do solo tanto naturais quanto construídas em uma sequência de ambientes que vão desde o mais natural, passando pelo rural até chegar ao mais urbano.

O ciclo da água urbano, apesar de sua complexidade, fornece um bom conceito e base unificada para estudar o balanço hídrico e a condução de estoques de água de áreas urbanas, captação, desenvolvimentos urbanos ou locais.

O Programa WSUD (Water Sensitive Urban Design) da Austrália tem como objetivo integrar o planejamento urbano com a gestão, proteção e conservação do ciclo urbano da água, que garante a gestão da água urbana que é sensível aos ciclos hidrológicos e ecológicos naturais. Neste artigo pretende-se explorar a relação da forma urbana e o ciclo da água urbano e a dicotomia encontrada nos traçados urbanos existente nos modelos de cidades compactas e cidades verdes. Pretende-se, assim, responder três questões:

1. Quais são as estratégias de planejamento e desenho urbano para a manutenção do ciclo da água urbano e proteção da qualidade da água?
2. O desenvolvimento urbano de baixo impacto indiretamente promove o desenvolvimento de modelo de cidades verdes com densidades mais baixas?
3. O desenho com ocupação mais compacta pode ser também mais verde?

O método de análise utilizado compara os dois O método de análise utilizado compara os dois modelos e parte inicialmente do estudo sobre o ciclo hidrológico com foco no ciclo da água urbano apresentado pela UNESCO e no desenho urbano sensível à água, fundamentado no programa australiano WSUD. Tendo como base os resultados da análise comparativa dos dois modelos de cidades, verdes e compactas, verificou-se que o desenvolvimento urbano de baixo impacto LID dos anos 1990 reforça a ideia de cidades verdes para a gestão das águas pluviais.

Portanto, buscou-se investigar as melhores práticas de gestão das águas pluviais tendo como referência o documento “Usando Técnicas do Crescimento Inteligente” da (EPA, 2012). O estudo da EPA sugere que o desenvolvimento de maior densidade poderia proteger melhor a qualidade da água regional, porque consome menos terra para acomodar o mesmo número de moradias e propõe melhores práticas de gestão das águas pluviais de acordo com o contexto e suas densidades. Assim, conciliam-se as densidades mais altas e desenho urbano sensível à água para trazer benefícios sociais e ambientais.

## 2. O ciclo da água urbano e sua relação com o desenho urbano

No planejamento das cidades ainda há uma tendência em ignorar os processos naturais, de perceber as oportunidades que as atividades humanas e forma urbana interagem com os processos naturais. É mais comum o desenvolvimento de estudos especializados sobre os recursos naturais (recursos hídricos, florestais, ecossistemas, biodiversidade, solos) e menos comum nos processos que os formam e os estruturam (fluxo de ar, água, materiais, reprodução e crescimento de plantas) (SPIRN, 2011).

Odom e Barret (2011) consideram que todos os elementos químicos essenciais à vida tendem a circular na atmosfera em caminhos característicos mais ou menos circulares, que vão do ambiente para o organismo e de volta para o ambiente, conhecidos como ciclos biogeoquímicos, como por exemplo, o ciclo da água.

O ciclo da água na Terra depende de movimentos de evaporação e transpiração em todo o globo, assim os fluxos da água não são constantes, estão sempre mudando, as várzeas são zonas dinâmicas, lugares onde a água sobe e desce, formando lagos e piscinas com o escoamento. Os fluxos formam e estruturam os rios, as várzeas, as bacias hidrográficas, suas topografias e fronteiras.

Segundo Manual da Unesco (2008), o modelo conceitual de ciclo da água descreve o “armazenamento e a circulação” de água entre a biosfera, atmosfera, litosfera e hidrosfera. O armazenamento é feito pela atmosfera, oceanos, lagos, rios, riachos, solos, glaciares, campos de neve e aquíferos de águas subterrâneas.

A circulação entre esses compartimentos de armazenamento é colocada em movimento por meio da energia solar que retira água dos oceanos através da evaporação da superfície do mar e da água dos rios e lagos da superfície terrestre e nas plantas e animais através da transpiração seguida pela evaporação, a evapotranspiração. Assim, a água, em forma de vapor, acumula-se na atmosfera até que precipita sobre a superfície terrestre e os oceanos. A água precipitada no solo se infiltra abastecendo os lençóis freáticos, ou escoar na forma de escoamento superficial ou subterrâneo até desaguar em lagos ou nos oceanos, voltando a evaporar.

A água que entra no sistema de circulação geral da atmosfera depende das diferenças de absorção de energia (transformação em calor) e da refletância entre os trópicos e as regiões de maior latitude, como as áreas polares (TUCCI E

MENDES, 2006). Neste sentido, é evidente que as mudanças climáticas no planeta afetam diretamente o ciclo da água em cada região.

A água na forma de precipitação assume diferentes estados e caminhos ao longo de seu ciclo que desencadeia uma série de processos e possíveis trajetórias que dependem não só das características da precipitação como também dos diferentes atributos e condições dos lugares por onde irá circular.

Segundo Botelho (2011), a água quando atinge a superfície ao entrar em contato com a vegetação pode ser interceptada pela copa das árvores e ser evaporada para a atmosfera, podendo ser armazenada nas copas e só depois ser precipitada, pode escorrer pelo tronco ou atravessar a vegetação e atingir diretamente a superfície do terreno. Quando há matéria orgânica (restos de galhos, folhas, sementes e animais semidecompostos) na cobertura do solo, a água pode ser armazenada ou escoada sobre ou entre a camada orgânica antes de atingir o solo. Ao atingir o solo, pode infiltrar ou escoar, dependendo das características intrínsecas desse solo e das condições de relevo (declividade e rugosidade do terreno).

Quando infiltra no solo, a água pode percolar até grandes profundidades alimentando o lençol freático e os aquíferos e escoar lateralmente em subsuperfície, em função da drenabilidade interna ou condutividade hidráulica dos materiais e inclinação do terreno. Pode ser absorvida pelas raízes das plantas, ascendendo pelo tronco até as folhas de onde poderá ser transpirada, participando da ciclagem de nutrientes (Botelho, 2011).

No âmbito urbano, toda essa diversidade de caminhos praticamente é reduzida ao binômio escoamento e infiltração, com menos incidência do segundo, em virtude da quase total ausência de uma cobertura verde e da matéria orgânica (serrapilheira).

Segundo Botelho (2011), com a adição de novos elementos pelo homem na cidade, como edificações, pavimentação, canalização e retificação de rios, que acabam por reduzir a infiltração e favorecer o escoamento das águas, que atingem seu exultório mais rapidamente e de forma mais concentrada, contribuindo para o aumento da magnitude e da frequência das enchentes.

Isto quer dizer que as bacias hidrográficas urbanas, quando comparadas às condições anteriores à urbanização, são diferenciadas pela diminuição do tempo de concentração de suas águas e pelo aumento dos picos de cheias, chegando em alguns casos a casos extremos de seis vezes

mais do que o pico dessa mesma bacia em condições naturais (BOTELHO, 2011; TUCCI, 2008).

Embora muitos elementos do ambiente natural sejam afetados por atividades humanas como os caminhos e abstrações hidrológicas, a estrutura do ciclo da água se mantém nas áreas urbanas.

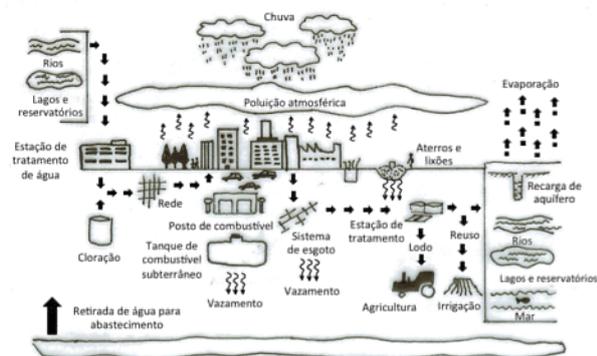
Abstrações hidrológicas são os processos do ciclo hidrológico que reduzem a precipitação total à precipitação efetiva, podendo, eventualmente, dar origem ao escoamento superficial. São processos que desviam a precipitação que alimentam as vazões dos cursos d'água.

Portanto, a precipitação efetiva é aquela que chega aos cursos d'água, alimentando as vazões das bacias hidrográficas. As principais abstrações hidrológicas são: a interceptação, o armazenamento em depressões do terreno, a infiltração, a evaporação e a evapotranspiração.

O ciclo da água é amplamente danificado pelos impactos da urbanização no meio ambiente e pela necessidade de prover serviços de água à população urbana, incluindo abastecimento de água, drenagem, gestão e coleta de águas residuais, e usos benéficos de águas receptoras.

O ciclo da água urbano, esquematizado na Figura 4, apesar de sua complexidade, fornece um bom conceito e base unificada para estudar o balanço hídrico e a condução de estoques de água de áreas urbanas, captação, desenvolvimentos urbanos ou locais. Sua gestão total se aplica às condições climáticas, fisiográficas, ambientais e socioculturais, bem como aos níveis de desenvolvimento, com modificações apropriadas (UNESCO, 2008).

Figura 4: Ciclo da água urbano.



Fonte: UNESCO (2008), desenho de Beatriz Loyola Lima.

Naturalmente, dependendo de circunstâncias locais, podem ser dadas prioridades diferentes às diversas medidas, mas o princípio geral é identificar as principais fontes de água, sedimentos, substâncias químicas e biota, caminhos aplicáveis

ou mudanças, e medidas de intervenção, servindo à gestão integrada dos recursos naturais.

Segundo o manual da UNESCO (2008) duas principais fontes de água são reconhecidas no ciclo da água urbano: abastecimento de água e precipitação. A água municipal é quase sempre importada de áreas fora do urbano ou mesmo captada em quantidades amplamente variadas que refletem a demanda de águas locais e sua gestão. Esta água pode contornar alguns caminhos no ciclo da água no meio urbano. Ela é trazida para a área urbana e distribuída dentro dele. Alguma fração é perdida nas águas subterrâneas, e o resto é usado pela população, convertida em águas residuais municipais, e, por fim, devolvida para águas superficiais.

A segunda fonte, a precipitação, geralmente segue um caminho mais longo através do ciclo da água. Ela cai, precipita sobre áreas urbanas e está sujeita às abstrações hidrológicas, incluindo: interceptação, armazenamento por depressão, evaporação (água no solo e superfície) e evapotranspiração (planta). Uma parte infiltra no solo (contribuindo para o solo úmido e recarga das águas subterrâneas) e outra parte é convertida em escoamento que pode ser transformada em receptores de água por sistema de transporte natural ou artificial.

Segundo o documento da UNESCO (2008) sobre o “Ciclo da Água Urbano”, existem dois aspectos que tem impactos diretos na gestão dos recursos hídricos nas áreas urbanas: arquitetura urbana e estilo de vida das pessoas. A arquitetura tradicional, que reflete as características da região, em muitas cidades grandes está sendo substituída pela arquitetura moderna internacionalizada por causa da globalização e do crescimento populacional com mudanças concomitantes na hidrologia urbana.

A densidade da população e edificações, sistema de coleta da água da chuva, material usado na construção, e sistema de coleta de águas residuais estão entre os principais fatores que causam mudanças no “ciclo da água urbano”. As modificações do solo afetam diretamente as funções da bacia hidrográfica. Quando a expansão urbana ocorre em áreas previamente não ocupadas, as alterações resultantes no solo pode mudar drasticamente a forma como a água é transportada e armazenada. Usos residenciais e comerciais criam superfícies impermeáveis e solos compactados que filtram menos água, o que aumenta o escoamento superficial e diminui a infiltração da água do solo.

Essas alterações podem aumentar o volume e a velocidade de escoamento, a frequência

e a gravidade das enchentes, e pico dos fluxos da tempestade.

Estilos de vida em área urbana afetam o ciclo hidrológico por meio de mudança nas demandas domésticas de água. O uso per capita da água doméstica e o uso da água em áreas públicas como parques e áreas verdes são as principais características que definem o estilo de vida nas grandes cidades. Embora fatores econômicos sejam importantes para determinar estas características, o padrão de uso da água, a tradição e a cultura tem mais efeitos significantes no estilo de vida nas áreas urbanas (UNESCO, 2008).

No desenho urbano convencional, os conceitos urbanísticos, hidrológicos e ambientais são desarticulados ou desconsiderados durante o processo de planejamento. As vias, além de atender ao tráfego de veículos, desempenham um papel fundamental na drenagem urbana. A água sempre procura o sentido da maior declividade, ou seja, perpendicular à curva de nível.

O desenho das vias também pode influenciar sobre o total de áreas impermeáveis e sobre o planejamento hidrológico do local; a extensão (comprimento) das vias e a área pavimentada podem variar para cada opção de desenho de vias, como exemplificado na Figura 5. Consequentemente, o tipo de desenho da malha viária pode ter influência significativa sobre a impermeabilização total do solo e a hidrologia do parcelamento local. A seleção de uma alternativa de desenho como as vias curvilíneas e grandes macroparcelas pode resultar em uma redução de 26% do total de áreas impermeáveis (PRINCE GEORGE’S COUNTY, 1999; TAVANTI E BARBASSA, 2010).

**Figura 5.** Extensão aproximada de pavimentos (em metros lineares) conforme opções de desenho de vias.



Fonte: Tavanti e Barbassa, 2010, adaptado de Prince George's County, 1999.

Outro aspecto relevante a ser considerado com relação ao ciclo da água urbano nos países em desenvolvimento, além do saneamento ambiental, para integrar os atributos das agendas Verde e Marrom, é a correlação entre a questão socioeconômica da arquitetura e do urbanismo, os padrões de uso do solo, o consumo de água e as taxas de escoamento superficial.

Lima, Andrade e Hollanda (2013) realizaram levantamentos no campo da arquitetura e urbanismo sobre a relação dos padrões de uso e ocupação do solo, tipos edifícios, consumo e renda da população em Brasília (baseados em HOLANDA 2007; SANT'ANA 2011), e no campo da geologia sobre padrões espaciais e taxas de impermeabilidade e escoamento (baseados em MENEZES, 2010) e identificaram que quanto mais alta a renda, menor o escoamento superficial e maior o consumo de água. Por meio da correlação desses elementos foi estabelecida uma relação entre o grau de impermeabilização das ocupações urbanas e a faixa de renda de sua população residente, como apresentado no Quadro 1.

Ainda que esta pareça ser uma relação menos direta do que consumo e faixa de renda, foi possível observar uma tendência de maior impermeabilização nas áreas ocupadas pelas classes de renda mais baixa.

**Quadro 1:** Correlações entre o padrão de uso do solo, faixa de renda da população, consumo de água e percentual de área impermeável.

Vista aérea da ocupação (Google Earth)	% de área impermeável	Tipo predominante	Faixa de renda	Consumo médio de água (Sant Ana, 2011; CAESB, 2004)
	< 40%	Res. Unifam.	Alta renda	----- ----
	40 a 70%	Res. Unifam.	Alta renda	Alto consumo 681 litros/ hab/dia
	> 70%	Res. Unifam.	Média baixa renda	Baixo consumo 165 litros/ hab/dia

Fonte Lima, Andrade e Hollanda (2013).

Neste caso, torna-se fundamental associar estudos sobre o ciclo da água urbano ao desenho espacial urbano, desde os sistemas de infraestrutura, de circulação de vias, de vegetação, das áreas livres públicas e elementos fundiários, como o tamanho do macro e micro parcelas (lotes) e ao estudo do tipo edifício, determinante como tipo de moradia apropriada pelas classes sociais.

O conceito de “ciclo da água urbano” proposto pelo manual da UNESCO (2008) demonstra a

conectividade e interdependência dos recursos de água urbana e atividades humanas, e a necessidade de gestão integrada. As categorias básicas de gestão da água englobadas nesta abordagem incluem:

1. Conservação de água (gestão da demanda) incluindo: uso mais eficiente de água (dispositivos de economia de água, práticas de irrigação); substituição de formas da paisagem (demanda de água reduzida); substituição dos processos industriais (demanda reduzida, água reciclada).
2. Gestão de águas residuais e abastecimento de água, águas subterrâneas, águas da chuva integradas: abastecimento de água mais econômico e confiável, gestão do fluxo ambiental (adiamento da expansão da infraestrutura, retorno das águas aos lagos), provisão de paisagem urbana aquática, substituição de fontes não potáveis de água (reuso de águas residuais e águas da chuva), proteção do escoamento das águas da poluição.
3. Reuso e tratamento de águas residuais, como uma base para descarte de poluentes potenciais, ou um substituto para outras fontes de abastecimento de água para usos não potáveis.

O programa do governo australiano “Desenho Urbano Sensível à Água” (WSUD) tem como foco a questão da influência das configurações urbanas sobre os fluxos de recursos. Visa assegurar que o desenvolvimento urbano e paisagem urbana sejam cuidadosamente projetados, construídos e mantidos de modo a minimizar os impactos sobre o ciclo da água urbano.

É uma tentativa de aplicar as técnicas de infraestrutura verde e princípios de design responsivo ao clima, à segurança da água, à proteção contra cheias e à saúde ecológica das paisagens terrestre e aquática, desde o nível de toda a bacia ao nível da rua. O programa WSUD reconhece que todos os fluxos de água no ciclo da água urbano são um recurso: a água potável, a água da chuva, as águas de drenagem, cursos d’água potável, águas cinza (água das pias de banheiro, chuveiro e lavanderia), águas negras (banheiro e cozinha) e mineração de água (esgoto).

O programa tem como objetivo reduzir o consumo de água potável, maximizar a água de reuso, reduzir a descarga de águas residuais, minimizar a poluição de águas pluviais antes de serem descartadas no ambiente aquático, maximizar a proteção das águas subterrâneas. Este programa com “gestão total do ciclo hidrológico” está sendo aplicado na Cidade de Melbourne, em resposta às

secas prolongadas, ao crescimento populacional e à crescente poluição de cursos d'água locais. Baseado em uma abordagem gerencial integrada, o conselho local desenvolveu políticas sensíveis à água e diretrizes que abrangem todos os componentes do ciclo hidrológico urbano, incluindo o abastecimento de água, o manejo de águas pluviais, o esgotamento sanitário e o meio ambiente hídrico natural.

Segundo o WSUD, todos os locais da cidade, incluindo edifícios, estradas, caminhos e espaços abertos podem contribuir para a gestão sustentável da água em todo o município. Isto significa que a água pode ser cada vez mais uma gestão da captação local e depender menos de captação externa. Como por exemplo, as estradas podem ser fontes de água através de águas pluviais coletadas. Os edifícios podem ser locais para reduzir a poluição de águas pluviais por meio de jardins tropicais.

Com o tempo, esta abordagem irá construir a resiliência dos recursos hídricos e ambientes aquáticos sob as pressões de consolidação urbana e mudanças climáticas.

O envolvimento da comunidade é um componente integral, a partir da concepção do projeto local e global, incorporando soluções locais, descentralizadas, que são "sensíveis" para as questões de sustentabilidade da água e de energia para a proteção ambiental.

A gestão integrada do ciclo da água visa verificar as fontes de água disponíveis, de acordo com os usos mais adequados. Esta é uma forma de reduzir o consumo da rede de água potável de alta qualidade, desnecessária para usos como irrigação e descarga do banheiro.

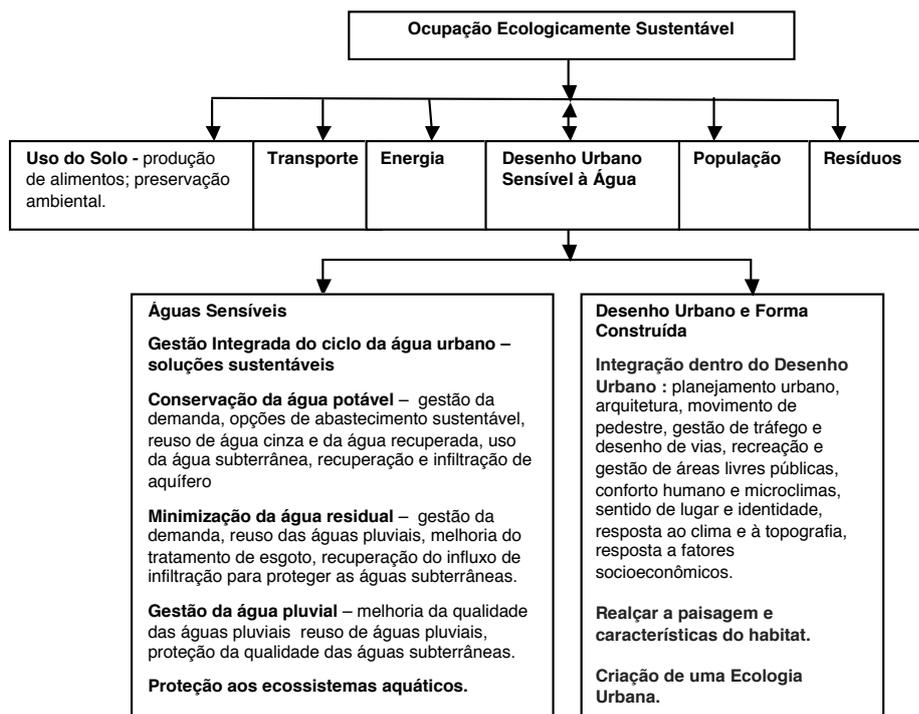
Fontes alternativas (como de reutilização) devem ser encontradas. O WSUD busca alcançar a resiliência por meio da gestão integrada da água, associada ao desenho urbano sensível à água que abrange soluções sustentáveis do desenho e da forma construída e outras políticas setoriais de planejamento para alcançar ocupações ecologicamente sustentáveis, ilustrado na Figura 6.

Portanto, para a avaliação de desempenho no planejamento e desenho urbano é necessário considerar a gestão do ciclo da água urbano e os benefícios socioeconômicos do planejamento urbano e da forma construída e não apenas as taxas de escoamento e infiltração de água. Esta forma holística de ocupação ecologicamente sustentável está representada na Figura 6.

### 3. Avaliação do modelo "cidades verdes" e o modelo de "cidades compactas" sob a ótica do ciclo da água urbano e benefícios sociais.

Existem diferentes visões no campo do conhecimento científico da sustentabilidade urbana (considerando as dimensões sócia, econômica e

**Figura 6:** Diagrama para alcançar a resiliência por meio de ocupações ecologicamente sustentáveis.



Fonte: Adaptado de Hoban, A., and Wong, T.H.F. "WSUD resilience to Climate Change" Introduction to WSUD, 2006.

ambiental) quanto à questão da pegada ecológica em relação à densidade urbana, aos padrões de uso e ocupação do solo e seus impactos nos ecossistemas e nos processos naturais.

Os urbanistas ou planejadores urbanos, dentro do campo das ciências sociais aplicadas, defendem o “crescimento inteligente” das cidades ou a “regeneração urbana” com concentração e diversidade de pessoas em zonas multifuncionais para melhorar a maximização das trocas de matéria, energia e informação no espaço urbano e sobrecarregar menos os ecossistemas do entorno.

Já os ambientalistas, dentro do campo das ciências ambientais, acreditam que as cidades devem ter autossuficiência, limites de crescimento com possibilidade de construção de novas cidades e densidades pré-estabelecidas, levando a uma convivência harmônica local entre os seres humanos e os ecossistemas.

Na visão de Mare (2008), no futuro com o declínio do petróleo quando as fontes de energia começar a diminuir, as megacidades sofrerão um processo de migração reversa de volta para o campo ou cidades menores devido à escassez dos recursos naturais, como ocorreu em algumas civilizações antigas.

Até o período da Revolução Industrial todos os assentamentos eram baseados em processos naturais, como o sol, o vento, a água, inundações regulares de rios, irrigação por gravidade, animais à tração e dependentes de orgânicos e combustíveis renováveis. Segundo Mare (2008), até o período da Revolução Industrial, as cidades tinham densidades relativamente mais baixas (entre 50 a 80 hab/ha). A transição do regime de energia, que anteriormente era suprimido por combustíveis renováveis e processos naturais, o tamanho, população e densidade dessas cidades foram limitados por seu regime de energia: a energia foi o fator determinante.

Com o advento dos combustíveis fósseis na Revolução Industrial houve uma mudança e um crescimento nunca antes visto nas cidades<sup>4</sup> com densidades superiores à 200 hab/ha. Com o inchaço populacional das cidades na segunda metade do século XIX, as preocupações com as questões ambientais e qualidade de vida foram incorporadas no planejamento e desenho urbano de duas

formas: nos subúrbios pitorescos<sup>5</sup> para as classes mais abastadas nos EUA, tendo como idealizador Frederik Law Olmsted e no início do século XX no conceito de Cidades-Jardins de Ebenezer Howard na Inglaterra, baseado nas iniciativas de industriais filantrópicos para a construção de vilas industriais para a classe operária no século XIX.

A cidade industrial com alta densidade era vista como uma desordem social e urbana à qual deveria ser imposta uma nova ordem social e uma nova ordenação espacial. O modelo de Cidades-Jardins, aqui denominado de “modelo de cidades verdes”, foi uma tentativa de resolver os problemas de insalubridade para a classe operária, desigualdades sociais e poluição nas cidades industriais por meio do planejamento e desenho de novas cidades próximas ao campo. Foi baseado nas vilas pré-urbanas de Borneville e Port Sunlight, integradas à natureza com as ruas no sentido das curvas de nível e dos riachos e, moradias com jardins individuais, voltadas para dentro, de costas para a rua e grandes áreas de espaços públicos abertos com baixas densidades (entre 8 a 16 hab/ha) (MARE, 2008).

As cidades foram previstas com tamanho controlado e autossuficiência regional em termos de produção de alimentos e tratamento de resíduos orgânicos no cinturão agrícola.

Na visão de Howard (1996), um quarto das cidades deveria ser ocupado por parques e jardins residenciais, além dos cinturões verdes, e vias bem arborizadas, propiciando o contato com o campo de forma a conciliar as vantagens da cidade e do campo em um só espaço. Incorporando-se à natureza do local. As habitações pensadas para as diversas classes sociais formam blocos isolados entre si, recuados do alinhamento do terreno, com jardins fronteiros. As ruas têm acesso secundário com “cul de sac” e passeios gramados, arbustos e árvores, que dão continuidade ao verde dos espaços públicos.

Segundo Tavanti e Barbassa (2010), no desenho urbano proposto para as Cidades-jardins de Howard no início do século XX, como o traçado de Unwin e Parker para Letchworth, a drenagem natural é potencializada por meio do traçado com ramificações em cul-de-sac de baixa densidade (8 e 24 hab/ha) que favorece a infiltração da água nas áreas verdes, o uso de canais naturais abertos.

4 Londres em 1840 atingiu o número de 2,5 milhões de habitantes e Liverpool com edifícios com densidade de 283 hab/ha. Nos Estados Unidos, em Nova York a população passou de 696.115 em 1850 para 3.437.202 em 1900, com em alguns blocos em 1905, com densidades de até 405 hab/ha (MARE, 2008).

5 A partir desta época, alguns subúrbios pitorescos foram planejados como Glendale em Ohio, fundado em 1851 por Robert C. Philips e Riverside em 1869 por Olmsted (KOSTOF, 1999).

Uma evolução do modelo de Cidade-Jardim em relação à drenagem pode ser visto em Village Homes, um parcelamento de 28 hectares e 220 habitações e 25 apartamentos (média de 30 a 35 hab/h), desenvolvido tanto para melhorar o sentido de comunidade como para a conservação de energia e recursos naturais. Situado em Davis, Califórnia (EUA), interligado na rede de ciclovias da cidade, foi construído na década de 1970, época em que os parcelamentos urbanos começaram a incorporar as diretrizes de amortecimento e armazenamento das águas pluviais.

O sistema de drenagem de águas pluviais foi resolvido por meio de canais de infiltração como córregos sazonais com pedras, arbustos e árvores, ao invés dos drenos subterrâneos de concreto, economizando-se 800 dólares de investimento, por unidade habitacional. Tal economia pagou grande parte do paisagismo dos amplos cinturões verdes e parques e, ao mesmo tempo, o próprio sistema de drenagem permite que essas áreas absorvam muita água, exemplificadas na Figura 7, de modo que suas necessidades de irrigação para as hortas caíram para um terço ou metade do consumo.

**Figura 7.** Foto da drenagem natural de Village Homes



A água, que corre das ruas, vai diretamente para estes largos canais e pode, vagorosamente, penetrar no solo para não interromper o ciclo hidrológico. Essas depressões da drenagem se integram às vias de circulação para pedestres e as ciclovias como um foco de vida comunitária. As ruas mais estreitas reduzem a intensidade e a velocidade do tráfego e material de pavimentação, melhorando o microclima do local com a sombra das árvores cobrindo toda a rua.

**Figura 7.** Corte transversal dos lotes em Village Homes com o escoamento das águas pluviais.



Fonte: <http://www.eslarp.uiuc.edu/la/la338s01/groups/c/DavisCA.html>

Apesar de seus ideais socialistas, o modelo de Cidade-Jardim contribuiu para a expansão dos subúrbios e classe média alta no mundo inteiro, principalmente nos EUA. Em Riverside, Olmsted implantou-se uma nova paisagem romântica em um pedaço de terra de campos, importando milhares de árvores, traçando ruas curvas que sugerissem contemplatividade, lazer e qualidade de vida em contraste com as ruas retas.

Posteriormente, na cidade racionalista modernista, o foco era tornar o espaço habitacional agradável, restringindo-se o convívio social no nível das unidades de vizinhança para amenizar os conflitos sociais gerados pela luta de classe no interior do espaço urbano (MONTE-MÓR, 2008). As diversas funções urbanas são tratadas de forma isolada com o conceito de zoneamento rígido, onde cada espaço corresponde a uma atividade funcional. A circulação é altamente desenvolvida, a vivacidade das ruas é substituída pela via, cuja função se restringe à circulação.

Assim, pode-se concluir que o desenho urbano baseado no modelo de “cidades verdes”, defende a preservação de grandes áreas verdes com ocupação de baixas densidades, a beleza da paisagem entrando na cidade com cultivo de plantas e árvores, jardins comunitários para produção de alimentos e habitat para a vida selvagem. Reivindica-se a autossuficiência, limites de crescimento com densidades pré-estabelecidas, que valorizam a leitura da paisagem e os processos naturais levando a uma convivência harmônica local entre os seres humanos e os ecossistemas.

Jacobs (2000, p.19) radicaliza ao considerar que todo o planejamento urbano moderno, que se seguiu a partir de então “é uma adaptação ou um remendo desse “material absurdo”, sob o ponto de vista urbanístico, produzido pelas ideias de Howard. O foco deste modelo não era a rua, mas a quadra, com as casas voltadas para dentro com afastamento frontal da rua, portanto “sem olhos para a rua” e, bairros monofuncionais os comércio separados das áreas verdes.

Ela acusa os subúrbios pitorescos pela promoção da exclusão social, ilhada do contexto urbano, por meio do desenho de grandes lotes verdes de custo elevado com poucas unidades por acre<sup>6</sup> e a falta de relação com a vizinhança que ele proporcionou influenciando diretamente na vitalidade urbana, que depende da diversidade de pessoas e classes sociais. Entretanto, Jacobs

6 Conversão - 1 acre = 4046 m<sup>2</sup> ou 4,04 hectares.  
1 hectare = 10.000m<sup>2</sup>.

(2000) exagera ao propor uma densidade muito alta de 100 moradias por acre (aproximadamente 247,1 moradias por hectare).

Kostof (2001) ressalta que o “pitoresco planejado” anglo-americano era então identificado com a imagem do “não urbano”.

Portanto, uma das grandes críticas ao modelo de Cidade-Jardim e das cidades modernistas (CIAM) como Brasília, sob o ponto de vista da sustentabilidade, é o efeito da suburbanização que eles causaram: a expansão urbana com baixas densidades que destrói a possibilidade de encontros de pessoas e ocupa terras agricultáveis. Este efeito da suburbanização é percebido nos EUA, e hoje no Brasil é representado pela expansão de condomínios de alta renda.

Acioly e Davidson (1998, p.48) argumentam que a baixa densidade proposta pelo movimento das Cidade-jardins e pelos projetos modernistas (CIAM) promoveu um aumento da mobilidade pendular da população, pressão sobre os sistemas de transporte de massa e elevação do consumo energético, ao contrário do que pensa Mare (2008) sobre a questão dos combustíveis fósseis. Além disso, baixas densidades de ocupação estão associadas à alta renda dos habitantes e a um número limitado de contatos sociais e encontro casuais impostos pela tipologia do assentamento como o caso da tipologia do Plano Piloto de Brasília.

Por outro lado, a cidade compacta com densidade mais alta está, geralmente, associada à baixa renda, principalmente nos países em desenvolvimento, com maiores oportunidades e intensidades de contatos sociais e possibilidades de encontros casuais.

Os movimentos surgidos no final do século XX, Smart Growth e Novo urbanismo nos EUA combatem os efeitos da suburbanização das cidades americanas (sprawl), seus altos custos sociais e econômicos, alterações na qualidade de vida das comunidades e sugerem a necessidade de um “novo urbanismo”.

O desenho urbano baseado no modelo de “cidades compactas” preconiza o “crescimento inteligente” (Smart Growth) das cidades para promover a “regeneração urbana” (retrofit) com concentração de pessoas e diversidade de classes sociais em zonas multifuncionais para

7 Crescimento Inteligente é o termo usado para descrever o crescimento bem planejado e bem gerido que adiciona novas habitações e cria novos postos de trabalho, preservando espaços não ocupados, campos agrícolas, e os recursos ambientais.

melhorar a maximização das trocas de matéria, energia e informação no espaço urbano e sobrecarregar menos os ecossistemas do entorno. Tem como princípios envolver a comunidade no processo e tirar proveito de projeto de construção compacta com mistura de usos para fornecer uma variedade de opções de transportes de um crescimento inteligente. A intenção é preservar as áreas verdes nativas, os campos agrícolas e áreas ambientalmente críticas.

Sob a ótica da gestão ecológica do ciclo da água, áreas de altas densidades, o modelo de cidade compacta, têm taxa de permeabilidade menor, maior porcentagem de escoamento superficial, menor capacidade de infiltração e menor porcentagem de evaporação. Estudos de hidrologia demonstram que quando a água não consegue retornar ao ambiente natural devido à expansão urbana, à pavimentação e à remoção de áreas verdes, há menos água no solo e na evapotranspiração das plantas, conseqüentemente, menos precipitação permanece nas bacias hidrográficas, isto quer dizer menos água no ciclo hidrológico (Tucci, 2008).

Por outro lado, segundo Rueda (2000), o modelo de cidade dispersa (expansão urbana de baixas densidades) tem uma capacidade de infiltração maior, todavia, impermeabiliza uma parte significativa da unidade hidrográfica na qual está inserida, causando distorções no movimento dos fluxos de água da bacia. Quanto mais a cidade se expande, mais rodovias, vias e rodovias são construídas, tornando-as cada vez mais fontes de poluição por metais pesados advindos de desgaste dos freios e vazamentos de óleos de motor, entre outros (HILL, 2009). Concomitantemente, a construção massiva de habitações unifamiliares com muitos jardins e piscinas, caracteriza um consumo maior do que as habitações coletivas (RUEDA, 2000).

Em estudos mais recentes desta última década, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA, 2004) está sugerindo que o desenvolvimento de maior densidade pode proteger melhor a qualidade da água regional, se forem consideradas as melhores práticas de gestão da água (BMP) porque consome menos terra para acomodar o mesmo número de habitações.

O reuso de superfícies impermeabilizadas existentes pode ser considerado como uma forma poderosa de regeneração urbana, primeiro, pela reocupação de terras ao invés de áreas não ocupadas da bacia hidrográfica, segundo, porque não há nenhum aumento tipicamente de rede de drenagem uma vez que a cobertura impermeável é essencialmente substituída pela cobertura impermeável.

Na visão de Aurbach (2010), para a qualidade da água, ambas as visões são necessárias e nós temos conhecimento técnico para criar assentamentos urbanos que sejam tanto compactos quanto verdes. O quadro 2 apresenta uma síntese entre a dicotomia existente entre os modelos de cidades verdes e cidades compactas.

#### 4. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto - LID

O Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (Low Impact Development – LID) tem como objetivo atingir paisagens hidrológicas funcionais, com comportamento mais similar ao natural, por controlar não somente o pico de vazões, mas volume, frequência/duração, além de promover a qualidade dos escoamentos pluviais e a proteção dos ecossistemas. Tem como meta recuperar a capacidade de infiltração das superfícies urbanas, reduzindo os impactos ambientais, com ganhos econômicos e paisagísticos em comparação ao controle efetuado pelos métodos tradicionais de controle com condutos e detenções.

Na visão de Tavanti e Barbassa (2010), o LID se sobrepõe ao modelo de desenho das Cidades-Jardins onde os fundos-de-vale são valorizados por meio da presença de vegetação, atrelando as áreas de lazer e práticas de esportes aos parques urbanos dessas áreas tornando-as mais atrativas. Este sistema diferencia-se do uso dos sistemas convencionais, por tratar a questão das águas pluviais e de seu manejo ao mesmo tempo em que se elabora o projeto urbano.

As práticas de manejo integrado (Integrated Management Practices - IMPs) são ferramentas utilizadas em empreendimentos LID para tratamento de qualidade e quantidade de águas pluviais. Elas podem reduzir o escoamento pela integração de controles em numerosas unidades, em pequenas partes do lote, próximo às fontes de geração de excedente de escoamento e de produção de esgoto de forma integrada ao ambiente, para mimetizar processos hidrológicos naturais, eliminando a necessidade de controle centralizado (SOUZA, CRUZ E TUCCI, 2012). São caracterizadas pelo emprego de vegetação para interceptar, evaporar, armazenar, absorver e infiltrar, nutrientes e sedimentos bem como pela reservação e

**Quadro 2:** Dicotomia entre cidades verdes e cidades compactas

<b>CIDADES VERDES (Cidades-Jardins)</b>	<b>CIDADES COMPACTAS</b>
Densidades mais baixas - Modelos: Cidades Jardins	Densidades mais altas - Modelos: Cidades Compactas
Tendência à autossuficiência e planejamento com tamanho controlado – tendência ao planejamento de “cima para baixo”.	Tendência à dependência de outros territórios para seu abastecimento e sem controle da expansão – tendência ao planejamento de “baixo para cima”.
Presença da paisagem – padrões espaciais dos ecossistemas.	Presença de pessoas (co-presença) – padrões espaciais sociais.
Favorece a produção de alimentos nos espaços livres.	Não favorece a produção de alimentos, poucos espaços livres.
% menor de áreas construídas e impermeáveis.	% maior de áreas construídas e impermeáveis.
Lotes maiores, menor número de habitações.	Lotes menores, maior número de habitações.
Aumenta os custos de infraestrutura, porém, o desenho das vias tende a acompanhar as curvas de nível com grandes macroparcelas, ramificações e cul de sac, diminuindo a área de pavimentação	Diminui os custos de infraestrutura, porém, o desenho das vias utiliza o recurso da malha fechada em grade para aumentar a permeabilidade aos pedestres. Isto aumenta área impermeável das vias.
Favorece a infiltração de água nas áreas verdes e reduz o escoamento.	Não favorece a infiltração de água com poucas áreas verdes e aumenta o escoamento.
Favorece a diminuição das ilhas de calor com áreas verdes florestadas.	Favorece o aumento de ilhas de calor com muita área de asfalto se as ruas não forem sombreadas.
Maior dependência do automóvel.	Favorece o transporte público e a mobilidade do pedestre
Favorece um tipo de classe social.	Favorece a diversidade de classes sociais
Formalidade – grandes espaços públicos convexos e construções afastadas das vias.	Urbanidade – pequenos espaços públicos convexos e construções lindeiras às vias.
Maior consumo de água per capita.	Menor consumo de água per capita.

pelo aproveitamento de água, e pela adaptação de estruturas para mínima perturbação ao sistema de drenagem natural.

### Quadro 3: Princípios do LID

#### LID – Low Impact Development – PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999

Fornecer uma melhoria na tecnologia para a proteção ambiental das águas receptoras.

Fornecer incentivos econômicos que estimulem a ocupação ambientalmente sensível.

Desenvolver todo o potencial do planejamento e desenho ambientalmente sensível

Incentivar a educação e participação do público na proteção ambiental.

Ajudar a construir comunidades baseadas em gestão ambiental.

Reduzir os custos de construção e manutenção da infraestrutura das águas pluviais.

Introduzir novos conceitos, tecnologias e objetivos para a gestão de águas pluviais, como microgestão e multi-características da paisagem funcionais (áreas de bioretenção, valas de infiltração e áreas de conservação); imitar ou replicar funções hidrológicas, e manter a integridade ecológica/biológica de receber fluxos.

Incentivar a flexibilidade na regulamentação que permite engenharia inovadora e planejamento local para promover os princípios “crescimento inteligente”.

Incentivar o debate sobre a viabilidade econômica, ambiental e técnica e aplicabilidade das práticas correntes de águas pluviais e abordagens alternativas.

O LID teve início com o desenvolvimento e uso de células de bio-retenção, uma das práticas de gestão integrada, que consiste na substituição do solo existente, por outro altamente poroso, além da formação de uma depressão rasa, e replantio por vegetação selecionada para tolerar condições temporárias de saturação do solo e poluentes contidos no escoamento local.

Para aplicação de todas as práticas é necessário planejar, ao mesmo tempo, a escala regional da bacia e a escala dos parcelamentos locais. Na escala dos parcelamentos urbanos, o modelo LID se aplica a implantação de novos empreendimentos e a reabilitação de parcelamentos existentes, apresentando vantagens para implantação dessas práticas a antigos empreendimentos com bons resultados financeiros e ambientais quando comparados às práticas americanas convencionais como o emprego apenas de detenções e retenções (SOUZA e TUCCI, 2012).

Devem ser estabelecidas áreas mínimas impermeáveis exigidas para ruas (largura de vias, comprimento de acessos residenciais) que não são controladas ou drenadas para áreas permeáveis e de fluxo superficial concentrado pela redução

de estruturas de condução de águas (canos, sarjetas e meios-fios) e direcionamento para fluxo raso de superfície. Devem ser repensados, os tipos de elementos estruturais, de arquitetura (edificações e coberturas), paisagismo e uso de equipamentos bem como a otimização da ocupação urbana em relação à minimização da movimentação de terra para reduzir os cortes e aterros do solo (SOUZA, CRUZ E TUCCI, 2012).

Na visão de Aubarch (2010) o LID tenta encorajar o crescimento inteligente e a regeneração urbana, mas ainda de maneira não muito proativa como a maior parte dos padrões e regulações das águas urbanas nos EUA que buscam o modelo de cidades verdes em detrimento ao modelo de cidades compactas. Eles ainda promovem o desenvolvimento de baixa densidade verde, o “espraio verde”.

Ainda segundo Aubarch (2010), na escala regional, este modelo tem o efeito oposto ao que se pretende porque resulta em maior perigo à bacia hidrográfica. O autor faz uma crítica pesada ao regime regulatório das águas urbanas nos EUA, considerando-o auto-contraditório e autoderrotado.

### 5. “Mais denso e mais verde”

Na perspectiva do crescimento populacional nos EUA em 18% até 2020 e na tentativa de melhorar a regulação para atender ao crescimento inteligente das cidades americanas com empreendimentos mais compactos, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) desenvolveu estudos sobre “Proteção dos Recursos Hídricos com Empreendimento de densidade mais alta”.

Na vertente atual do desenvolvimento urbano, para promover a resiliência por meio da regeneração (retrofit), considera-se que o crescimento urbano com densidades mais altas pode criar novas oportunidades para as comunidades com a chegada de novos moradores, empresas e investimentos. Com a entrada de recursos financeiros para revitalizar a cidade, pode-se reformar uma via principal, construir novas escolas e proporcionar lugares mais vibrantes para se viver, trabalhar, fazer compras e para o lazer.

No entanto, os benefícios socioeconômicos trazem impactos ambientais e novos desafios para proteger os recursos naturais. A região onde ocorrerá o crescimento e a configuração terão impactos profundos na qualidade dos córregos, rios, lagos e praias. Neste sentido, o desenvolvimento urbano inteligente deve promover o uso eficiente da terra e proteger as terras naturais e os recursos hídricos. Alguns especialistas em qualidade da água acreditam que o desenvolvimento urbano

de maior densidade pode melhorar a maneira de proteger os recursos hídricos.

Segundo a Pesquisa sobre “Levantamento Habitacional Americano” (Censo, 2001, apud EPA, 2012), 35 % das novas moradias são construídas em lotes entre 8.093 a 20.230m<sup>2</sup>, e o tamanho médio do lote é pouco menos da 2.023 m<sup>2</sup>. Realmente, as leis de uso e ocupação do solo (códigos e zoneamentos) acabam incentivando lotes relativamente grandes, em parte, porque os governos locais, muitas vezes, acreditam que o tamanho ajuda a proteger a qualidade da água, o que de fato acontece porque a cobertura do solo mais impermeável pode degradar a qualidade da água devido à taxa de escoamento.

Estudos têm demonstrado que com 10 por cento de impermeabilização uma bacia hidrográfica pode ser prejudicada e os impactos crescem ainda mais à medida que aumenta impermeabilização do solo. Isto levou muitos governos locais a adotar o zoneamento de baixa densidade e com taxas de impermeabilização que variam entre 10 a 20% que permitem superfícies impermeáveis para a construção de casas, garagens e calçadas. Neste sentido, as regulações são tendenciosas contra ocupações de maior densidade.

A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) desenvolveu estudos de modelagem de escoamento de águas pluviais provenientes de diferentes densidades de ocupação a nível local e, em seguida, os resultados foram extrapolados e analisados ao nível da bacia hidrográfica. Os resultados da modelagem foram utilizados para comparar escoamento de águas pluviais associadas com diversas variações de densidade residencial com o objetivo de verificar se ocupações de baixa densidade é, automaticamente, a melhor estratégia para proteger a qualidade da água. Para este fim, três densidades diferentes de parcelamentos foram modelados em lotes de 4.046 m<sup>2</sup> e no nível das bacias hidrográficas, bem como nas séries temporais de cenários construídos.

Um modelo matemático simples compara em 4046 m<sup>2</sup> (1 acre) uma ocupação de 1 habitação com ocupação de 8 habitações. Tal modelo demonstrou que densidade mais alta reduz o escoamento por moradia em 73%. Construindo o mesmo número de casas em densidade mais alta reduz superfícies impermeáveis em 60%.

Os resultados sugerem que o desenvolvimento urbano de modelos de baixa densidade nem sempre é a melhor estratégia para proteger os recursos hídricos. Além disso, os resultados parecem sugerir que o desenvolvimento de maior densidade poderia proteger melhor a qualidade

da água regional, porque consome menos terra para acomodar o mesmo número de casa.

O estudo demonstrou que ocupações urbanas de baixa densidade espalhadas contribuem para aumentar as taxas de conversão de terras e escoamento de águas pluviais, perdendo assim, a oportunidade de preservar a terra natural dentro da bacia hidrográfica. Além disso, essas alterações no solo não são apenas susceptíveis a degradar a qualidade da bacia hidrográfica individual, mas também são susceptíveis a degradar um maior número de bacias hidrográficas. No entanto, o estudo não conclui totalmente que a ocupação urbana de alta densidade é necessariamente mais adequada à proteção da qualidade de água.

Este estudo não considerou os fatores como, localização da ocupação na bacia hidrográfica, variando os tipos de solo, declividade, controles pós-construção avançados (seu desempenho ao longo do tempo) e muitos outros fatores. Há boas razões para considerar a ocupação de densidade mais alta como uma estratégia que pode proteger melhor os recursos hídricos do que o desenvolvimento de menor densidade.

Outro aspecto a ser considerado, além do volume de escoamento é a carga poluente. Um estudo realizado por Jacob e Lopez (2009, apud Aubarch, 2010) sobre “Mais denso é mais verde” por meio de modelos matemáticos sofisticados de escoamentos das águas pluviais aplicados a vários níveis de densidades demonstraram que melhorias em cargas poluentes por habitação têm início a partir de 4 a 12 habitações por acre (4046 m<sup>2</sup> ou 4,04 hectares) e a melhoria em benefícios é menos dramática para o volume de escoamento que começa a nivelar por volta de 20 a 30 habitações por acre.

A Agência de Proteção Ambiental dos EUA – EPA - (EPA, 2012) acredita que o aumento da densidade de ocupação é uma estratégia que os governos locais e comunidades podem usar para minimizar os impactos regionais da qualidade da água. No entanto, qualquer caminho em direção a um ou outro é inadequado do ponto de vista da água. Uma abordagem ampliada para proteger os recursos hídricos é provável que seja localmente uma combinação de densidades de ocupações de fatores locais, incorporando o espaço aberto adequado, preservando áreas ecológicas e tampão críticos e minimizando os impactos no solo.

Segundo o estudo “Protegendo os Recursos Hídricos com Empreendimento de densidade mais alta” (EPA), a hidrologia de bacias hidrográficas sugere três estratégias principais de uso do solo que podem ajudar a garantir uma proteção

**Quadro 4:** Melhores práticas de gestão relacionadas ao contexto de ocupação - Usando Técnicas do Crescimento Inteligente como melhores práticas de gestão das águas pluviais.

<b>Estratégias de Melhores práticas de gestão - BMP</b>	<b>Assentamentos de densidade mais alta/Urbana</b>	<b>Áreas Urbanizáveis/Subúrbio</b>	<b>Áreas de Conservação e Área Rural</b>
<b>Estratégias para construções individuais e construções locais</b>	Células de bioinfiltração, captação e armazenamento da água da chuva do telhado, telhados verdes, desconectar condutores de calha em bairros residenciais mais antigos, programas para reduzir a compactação do gramado, melhorias de entrada de águas pluviais.	Desconectar condutores de calha, telhados verdes, programas para reduzir a compactação do gramado, células de bioinfiltração, captação e armazenamento de água de chuva do telhado.	Telhados verdes, desenhos locais e moradias que minimizam rompimento do solo
<b>Desenvolvimento de baixo impacto (LID) ou melhores estratégias de design locais</b>	Estratégias de LID Intra-urbanas: áreas de paisagem de alto desempenho, adaptação de parques urbanos para a gestão de águas pluviais, áreas microdetenção, floresta urbana e copa das árvores, "retrofits" verdes para ruas.	Swales, trincheiras de infiltração, micro-detenção para projetos de preenchimento, algum projeto de conservação, adaptação de estacionamentos para o controle de águas pluviais ou de preenchimento, copa, "retrofits" verdes de ruas. Dependendo da localização, maior escala de infiltração.	LID em larga escala: proteção da floresta, proteção de fontes de água fonte, proteção da água com sobreposição de zoneamento, conservação, proteção de aquíferos, "wetlands" para águas pluviais.
<b>Infraestrutura</b>	Melhor utilização da infraestrutura cinza: reparação e ampliação das tubulações já existentes, instalação de tratamento de águas pluviais, primeiras políticas de corrigi-las, melhorar a rua e manutenção de instalações.	Áreas prioritárias de financiamento para a ocupação direta, melhor desenho da rua, planejamento de infra-estrutura para incentivar a ocupação com crescimento inteligente, melhorar ruas e manutenção de instalações.	Planejamento de crescimento inteligente para as comunidades rurais que utilizam sistemas no local.
<b>BMP estrutural</b>	Dispositivos comercialmente disponíveis de controle de águas pluviais, bacias de drenagem urbana, reparação de infra-estrutura cinza tradicional.	Barris de chuva, técnicas de bioinfiltração, "wetlands" construídos.	
<b>Estratégias de design</b>	Distritos de trânsito, redução de estacionamento, preenchimento com adensamento, melhor utilização de estacionamento do lado do meio-fio e direitos de passagem, zonas industriais, limpeza de córregos urbanos e áreas de proteção ambiental, áreas de recepção de transferência de direitos de desenvolvimento.	Preenchimento com adensamento, reocupação de "greyfields", redução de estacionamento, políticas para promover um sistema de rua conectado, projeto de conservação e de espaço aberto, planejamento rural, algumas restrições à superfície impermeável, restauração de córregos e áreas de proteção, áreas direcionadas a receber transferência de ocupação, empreendimento de unidades planejadas.	Planejamento regional, uso de provisão de anti-degradação da Lei da Água Limpa, envio de áreas de transferência de ocupação na bacia, limites de superfície impermeável em toda bacia hidrográfica, sobreposição de proteção de água nos zoneamentos dos distritos.
<b>Estratégias regionais ou de toda bacia hidrográfica</b>	Transferência de direitos de ocupação, restauração beira-mar, participação no planejamento regional da gestão de águas pluviais / infraestrutura.	Planejamento de parque aberto e de espaço regional, ligando novos investimentos para o sistema de trânsito regional, participação no planejamento regional da gestão de águas pluviais / infraestrutura.	Planejamento regional, uso de provisão de anti-degradação da Lei da Água Limpa, envio de áreas de transferência de ocupação na bacia, limites de superfície impermeável em toda bacia hidrográfica, sobreposição de proteção de água nos zoneamentos dos distritos, planejamento de abastecimento de água e aquisição de terrenos.

Fonte: Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA, 2012)

adequada dos recursos hídricos: (1) planejar para preservar grandes áreas contínuas, de espaços livres para infiltração; (2) preservar áreas ecológicas críticas, como as zonas úmidas, planícies aluviais, e corredores ripários; (3) minimizar o impacto no solo em geral e a superfície impermeável associada ao padrão de ocupação do uso do solo com estratégias de crescimento inteligente com densidades mais altas e ocupação mais compacta para impactar menos terra e acomodar mais empreendimentos urbanos.

A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) no documento “Melhores práticas de gestão relacionadas ao contexto de ocupação - Usando Técnicas do Crescimento Inteligente” (2012) propõe melhores práticas de gestão das águas pluviais de acordo com o contexto e suas densidades.

Para estimular o empreendimento de vizinhança compacta na gestão das águas urbanas, Aubarch (2010) propõe o reconhecimento da densidade como uma melhor prática de gestão, a possibilidade de mitigação de impactos fora do local, de preferência na vizinhança, o planejamento e desenho de acordo com o “transecto” (seção transversal do contexto da vizinhança). Desta forma, considerando as estratégias de melhores práticas de gestão de recursos hídricos e aplicando-as aos cenários do transecto de áreas de densidades mais altas, áreas urbanizáveis e subúrbios, áreas de conservação e áreas rural, é possível a identificação de critérios e diretrizes focados no ciclo da água urbano para assegurar a proteção e uso de bacias hidrográficas como sintetizado no Quadro 4.

## 6. Considerações Finais

Tendo como base os resultados da análise comparativa foram identificadas as melhores práticas de gestão das águas pluviais encontradas no documento “Usando Técnicas do Crescimento Inteligente como melhores práticas de gestão das águas pluviais” (EPA, 2012), que sugere que o desenvolvimento de maior densidade poderia proteger melhor a qualidade da água regional com o consumo menor de terra e propondo práticas de gestão das águas pluviais de acordo com contextos e densidades.

Neste sentido, defende-se a importância de se trabalhar a dualidade dos dois modelos: as vantagens do crescimento compacto no desenho urbano das áreas intraurbanas, com preenchimento das áreas menos densas, e as práticas do desenvolvimento urbano de baixo impacto – LID - com as BMPs para infraestrutura verde nas áreas verdes e nas áreas ambientalmente sensíveis. Lembrando que essas práticas devem estar associadas às outras estratégias de sobrevivência

tanto para o deslocamento de recursos, energia, água, produção de alimentos, tratamento de resíduos e materiais para construção de habitats humanos como para deslocamentos de pessoas por meio de adequado uso do solo e transporte público eficiente.

## 7. Referências Bibliográficas

ACIOLY Claudio, e DAVIDSON, Jr. Forbes. Densidade Urbana e Gestão Urbana. Mauad Editora, Rio de Janeiro, Brasil, 1998.

AURBACH, Laurence. Dense and Beautiful Stormwater management. Ped Shed Blog. Maio de 2010. Acesso em agosto de 2013. Disponível em <http://pedshed.net/?p=270>.

BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (org.) Geomorfologia urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

Convenção sobre Diversidade Biológica. Panorama das Cidades e da Biodiversidade. Tradução Ronaldo Costa. Rede BiodivERsA, 2012.

Gorski, Maria Cecília Barbieri. Rios e Cidades. Ruptura e Reconciliação. Editora SENAC São Paulo, 2010.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency's. Using Smart Growth Techniques as Stormwater Best Management Practices, 2012

EPA - U.S. Environmental Protection Agency's. Protecting Water Resources with Smart Growth, 2004.

Prince George's County. Maryland Department of Environmental Resources Programs and Planning Division. LID - Low-Impact Development Design strategies. 1999

HILL, Kristina. Urban Design and Urban Water ecosystems. The Water Environment of Cities. Springer. 2009, pp 141-170.

HOLANDA, F. Be aware of local properties. Anais do 6th Space Syntax Stanbul (2007).

HOWARD, Ebenezer. Cidades-Jardins de amanhã. Tradução: Marco Aurélio Lagonego, Introdução: Dácio Araújo Benedito Otoni. São Paulo, Estudos Urbanos, Série Arte e Vida Urbana, Hucitec, 1996.

JACOBS, Jane. Morte e vida de grandes cidades. Coleção a, Martins Fontes, São Paulo; 1ª edição, 2000.

KOSTOF, Spiro. *The city shaped. Urban Patterns and Meanings. Through History. Second edition* Thames & Hudson, New York 1999.

Lima, Beatriz Loyola. Andrade, Liza Maria Souza de Andrade e Hollanda, Pedro Paulo T.M. Padrões de uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Paranoá e seus impactos para o ciclo da água no meio urbano. In: *Anais do ELECS*, Curitiba, 2013.

MARE, Christopher. *An Historical survey of urban densities as a consequence of energy regime: descent into the urban village.* In: *Anais do Ecocity*, São Francisco, Califórnia 2008.

MENEZES, P. H. B. J. Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na Bacia do Lago Paranoá. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade de Brasília (2010).

MONTE-MÓR, Roberto Luís de Melo. Do urbanismo à política urbana: notas sobre a experiência brasileira. In: COSTA, Geraldo Magela e MENDONÇA, Jupira Gomes. *Planejamento Urbano no Brasil: trajetória, avanços e perspectivas*. Belo Horizonte: Editora C/Arte, 2008.

ODUM, Eugene P.; Gary W.Barret. *Fundamentos de Ecologia*. Tradução da 5ª edição norte-americana. Cengage Learning, São Paulo, 2011.

Puget Sound Action Team - Washington State University Pierce County Extension [PSAT & WSU] 2005. *Low Impact Development: Technical Guidance Manual for Puget Sound*. Washington. 246p.

RUEDA, Salvador. *Modelos de ciudad: indicadores básicos y las escalas de la sostenibilidad*. Barcelona: [s.n.]. 2000. *Quaderns – D'arquitectura e urbanismo – Col·legio D' Arquitectos de Catalunya*.

SANT'ANA, D.R. *A social-technical study of water consumption and water conservation in Brazilian dwellings*. Tese (Doutorado). Oxford Brookes University (2011).

SILVA, Antônio Soares de. *Solos Urbanos*. In.: GUERRA, A.J.T. (org.) *Geomorfologia urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

TAVANTI, Débora Riva e Ademir Paceli. BARBASSA. 161. *Contribuições do planejamento urbano às questões hidrológicas e ambientais*. In: *Anais do PLURIS*, Brasília, 2010

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. *Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica*. Brasília: MMA, 2006.

Tucci, Carlos. E. M. *Águas Urbanas*. *Estudos avançados* 22 (63), 2008.

UNESCO – IHP. *Urban Water Cycle Processes and Interactions*. In: MARSALEK, J., JIMÉNEZ-CISNEROS B., KARAMOUZ M., MALMQUIST P., GOLDENFUM J. & CHOCAT B. *Urban Water Series*. Taylor & Francis, Londres (2008).

SOUZA, Christopher Freire, CRUZ, Marcus Aurélio Soares e TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. *Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas*. RBRH – *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* Volume 17 n.2 - Abr/Jun 2012.

SPIRN, Anne. *Ecological urbanism: A framework for the design of resilient cities*. Massachusetts, EUA. Dezembro 2011.

WSUD. *Water Sensitive Urban Design Program*. City of Melbourne WSUD guidelines applying the model WSUD guidelines. Melbourne Water, 2008.