

Impactos do crescimento de áreas impermeáveis e o uso de medidas alternativas para a drenagem urbana

Impacts of growth of waterproof areas and the use of alternative measures for urban drainage

Impactos del crecimiento de áreas impermeables y el uso de medidas alternativas para el drenaje urbano

Recebido: 29/07/2020 | Revisado: 04/08/2020 | Aceito: 10/08/2020 | Publicado: 16/08/2020

Wilza Gomes Reis Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3567-6831>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: wilza@ufpi.edu.br

João Macêdo Lima Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8825-3293>

Centro Universitário UNINOVAFAPI, Brasil

E-mail: jlimaj@hotmail.com

Karenina Cardoso Matos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3719-6217>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: kareninamatos@hotmail.com

Resumo

A evolução dos estudos relacionados à sustentabilidade das cidades proporcionou mudança de paradigma em relação ao controle da drenagem urbana. As soluções baseadas puramente no conceito higienista, de escoamento rápido das águas por meio de obras hidráulicas, foram perdendo espaço para as alternativas, que aliam medidas de caráter não estrutural às de contenção na fonte das águas de chuva, as chamadas técnicas compensatórias em drenagem urbana. Neste artigo, apresentam-se reflexões sobre o impacto do aumento de áreas impermeáveis nas cidades e sobre tipos de medidas compensatórias, possíveis de utilização para o controle da drenagem urbana. Para isso, foi realizada pesquisa bibliográfica, abordando aspectos relacionados à impermeabilização do solo, controle do escoamento superficial, medidas compensatórias para o controle da drenagem urbana e análise de aplicação de alternativas compensatórias de drenagem urbana em cidades brasileiras. Foi realizado, ainda,

estudo de caso, enfocando bairros da cidade de Teresina, Piauí, com alta densidade populacional e grande nível de urbanização, em que foram estimadas as áreas impermeáveis, e seu aumento, entre os anos de 2000 e 2007, utilizando-se o software *ArcGIS*. Na região estudada foi constatado o crescimento de 26,11% de área impermeabilizada. Como soluções mais viáveis para o uso na drenagem urbana, foram identificadas medidas que utilizam pequenas áreas para a retenção das águas da chuva, em lotes individuais ou em áreas públicas, tais como, reservatórios de lote e pavimento permeável.

Palavras-chave: Ocupação do espaço urbano; Manejo de águas pluviais; Drenagem urbana; Técnicas compensatórias.

Abstract

The evolution of studies related to the sustainability of cities has provided a paradigm shift in relation to the control of urban drainage. Solutions based purely on the hygienist concept, of fast water drainage through hydraulic works, have been losing ground to alternatives, which combine non-structural measures with containment at the source of rainwater, the so-called compensatory techniques in urban drainage. In this article, we present reflections about the impact of the increase in impervious areas in cities and on types of compensatory measures, which can be used to control urban drainage. For this, a bibliographic research was carried out, addressing aspects related to soil waterproofing, control of runoff, compensatory measures for the control of urban drainage and analysis of the application of compensatory alternatives for urban drainage in Brazilian cities. A case study was also carried out, focusing on neighborhoods in the city of Teresina, Piauí, with high population density and a high level of urbanization, in which the impermeable areas were estimated, and their increase, between the years 2000 and 2007, using if *ArcGIS* software. In the studied region it was verified the increase of 26.11% of waterproofed area. As the most viable solutions for use in urban drainage, measures have been identified that use small areas for the retention of rainwater, in individual lots or in public areas, such as lot reservoirs and permeable pavement.

Keywords: Urban space occupation; Stormwater management; Urban drainage; Compensatory techniques.

Resumen

La evolución de los estudios relacionados con la sostenibilidad de las ciudades ha supuesto un cambio de paradigma en relación al control del drenaje urbano. Las soluciones basadas puramente en el concepto higienista, de drenaje rápido de agua mediante obras hidráulicas, han

ido perdiendo terreno frente a alternativas, que combinan medidas no estructurales con la contención en la fuente del agua de lluvia, las denominadas técnicas compensatorias en drenaje urbano. En este artículo se presentan reflexiones sobre el impacto del aumento de áreas impermeables en las ciudades y sobre los tipos de medidas compensatorias, que pueden utilizarse para controlar el drenaje urbano. Para ello, se realizó una investigación bibliográfica, abordando aspectos relacionados con la impermeabilización del suelo, control de escorrentías, medidas compensatorias para el control del drenaje urbano y análisis de la aplicación de alternativas compensatorias para el drenaje urbano en ciudades brasileñas. También se realizó un estudio de caso, focalizado en barrios de la ciudad de Teresina, Piauí, con alta densidad poblacional y alto nivel de urbanización, en los cuales se estimaron las áreas impermeables, y su incremento, entre los años 2000 y 2007, utilizando si el software ArcGIS. En la región estudiada se constató el incremento del 26,11% de superficie impermeabilizada. Como soluciones más viables para su uso en drenaje urbano, se han identificado medidas que utilizan áreas pequeñas para la retención de agua de lluvia, en lotes individuales o en áreas públicas, como embalses de lotes y pavimento permeable.

Palabra clave: Ocupación del espacio urbano; Gestión del agua de lluvia; Drenaje urbano; Técnicas compensatorias.

1. Introdução

O crescimento populacional das cidades e consequente expansão urbana tem gerado diversos impactos no meio ambiente. Destaca-se que, para atender a demanda desta população, com o aumento de edificações, pavimentação de vias e calçadas, a paisagem natural é transformada, a partir da retirada da vegetação e da impermeabilização do solo, o que acarreta a redução de sua capacidade de permeabilidade. A alteração de áreas antes permeáveis para áreas impermeáveis contribui para o desequilíbrio hidrológico ocorrendo o aumento do escoamento superficial, que está diretamente associado às enchentes, cada vez mais presentes em áreas urbanas (Tucci, 2006).

Em estudos desenvolvidos atualmente, voltados para a drenagem urbana, é possível observar que tem sido dada maior atenção para as fases relacionadas ao planejamento das ações a serem adotadas, pesquisando-se medidas de prevenção de enchentes e, ainda, maneiras de atenuar os efeitos provocados por complexas obras de drenagem urbana.

Teixeira et al. (2020, p. 14) destacam a importância do planejamento voltado para a drenagem urbana, apontando que “roteiros para dimensionamento hidráulico e hidrológico de

sistemas de drenagem de águas pluviais são estabelecidos por Instruções técnicas e Planos diretores elaborados por órgãos estaduais e municipais de infraestrutura”.

Com o objetivo de controle da drenagem urbana são executadas obras de engenharia que, associadas ou não aos sistemas tradicionais de drenagem (canalizações), visam incrementar os processos de retardamento do escoamento, seja por meio de mecanismos que propiciam a infiltração da água das chuvas no solo ou por meio de estruturas de retenção dos escoamentos. Nos dois casos, a intenção é a de diminuir os picos de vazão por meio conveniente de armazenamento do deflúvio (Canholi, 2015).

Christofidis et al. (2019, p. 97) alertam que, com o crescimento populacional e o adensamento das áreas urbanas, “os impactos das chuvas no meio urbano e nos ecossistemas aquáticos ampliaram-se consideravelmente, potencializando os desafios para os gestores da drenagem, das áreas e das águas urbanas”. Para minimização dos problemas relacionados à drenagem urbana, Zanandrea e Silveira (2019) destacam a importância do planejamento urbano adequado, principalmente em áreas adensadas, que deve considerar, tanto medidas institucionais (não estruturais), como também, estruturais.

Neste sentido, destacam-se as denominadas tecnologias alternativas ou compensatórias de drenagem pluvial. Segundo Nascimento e Batista (2009, p. 151), o “termo compensatório faz referência ao propósito central de tais técnicas de procurar compensar ou minorar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico”.

Neste trabalho, são apresentadas reflexões sobre o impacto do aumento de áreas impermeáveis nas cidades e sobre tipos de medidas compensatórias, que podem ser utilizados no controle da drenagem urbana.

2. Metodologia

Para atender ao objetivo proposto isso, foi realizada pesquisa bibliográfica, abordando aspectos relacionados à impermeabilização do solo, controle do escoamento superficial, medidas compensatórias para o controle da drenagem urbana e análise de aplicação de alternativas compensatórias de drenagem urbana em cidades brasileiras, que tenham enfrentado problema semelhante na época das chuvas.

Foi realizado, ainda, para contextualizar o problema, estudo de caso, enfocando região da cidade de Teresina, Piauí, com a utilização do software *ArcGIS*, em que foram estimadas as áreas impermeáveis (em lotes, calçadas e vias) existentes em 2000 e seu aumento correspondente para o ano de 2007, obtendo o quantitativo nas áreas demarcadas.

3. Impermeabilização Urbana e Escoamento Pluvial

Os problemas de inundações nos períodos chuvosos são comuns em cidades brasileiras, diretamente relacionados aos índices de impermeabilização do solo. Segundo Kemerich et al. (2014, p. 83), o escoamento superficial ocorre de forma mais intensa nos ambientes urbanos, “em razão do alto grau de impermeabilização de suas superfícies, por meio das ruas, avenidas, telhados e construções”.

Na cidade de Uberlândia, Minas Gerais, em estudo de simulação de cenários, considerando-se os efeitos da urbanização, sobre as vazões de pico, foi constatado por Justino, Paula e Paiva (2011, p. 35), que “para uma variação de 29 a 54% no índice de áreas impermeáveis, a vazão de pico pode sofrer um aumento de até 59,40% sobre a vazão de pico do cenário de referência”. Os autores indicaram, neste caso, o uso de reservatório de retenção ou detenção, que contribuiria para amortecer as vazões e tempo de pico.

Em estudo realizado em bairros de Campina Grande (PB), Santos, Rufino e Barros Filho (2017), a partir de mapas de inundação, observaram o aumento do escoamento superficial, mesmo em áreas que apresentam sistema de microdrenagem, com capacidade de suporte comprovadas. Segundo os autores, isto ocorreu devido ao crescimento da impermeabilização do solo na área estudada, ressaltando, ainda, a importância da previsão de áreas permeáveis no planejamento urbano.

Para Garotti e Barbosa (2010, p. 28), que desenvolveram pesquisa na cidade de Ribeirão Preto, em São Paulo, caracterizando o uso e ocupação do solo e analisando a impermeabilização urbana e conectividade hidráulica dos lotes, “a quantificação da impermeabilização urbana é útil para outros métodos de previsão de enchentes é muito importante como parâmetro urbanístico”.

Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) avaliaram a eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial, constatando que, para uma chuva simulada de 111,9 mm/h, praticamente não ocorria escoamento superficial, quando foi adotado pavimento do tipo permeável. Os autores sugerem a utilização dos pavimentos permeáveis em estacionamentos para veículos leves.

Os pavimentos permeáveis são classificados em três tipos: pavimento de asfalto poroso, de concreto poroso e de blocos de concreto perfurado, preenchido com areia ou grama. As restrições para o uso de pavimentos permeáveis são o alto nível do lençol freático e a baixa permeabilidade do solo. Contudo, a adoção dos pavimentos permeáveis do tipo blocos vazados leva à quase anulação do escoamento superficial. Observa-se, portanto, que a adoção deste tipo

de pavimento pode fazer com que as condições originais de geração de escoamento superficial sejam mantidas. Assim, ainda segundo os autores citados, estes dispositivos apresentam-se como altamente recomendados para o controle dos volumes escoados (Araújo, Tucci & Goldenfum, 2000)

Silva e Cabral (2014, p. 7) consideram importante na drenagem urbana o uso de técnicas voltadas para o restabelecimento de “processos do ciclo hidrológico como: a infiltração e o armazenamento, com o objetivo de aumentar o tempo de concentração da bacia e diminuir as vazões geradas com as chuvas”.

Neste sentido, destacam-se as técnicas compensatórias em drenagem urbana, que são capazes de reduzir os prejuízos à população e danos ambientais, causados pelas águas pluviais nas cidades, por meio da “tentativa de restituir o ciclo hidrológico que existia no local antes da urbanização” (Garrido Neto et al., 2019, p. 18755).

4. Exemplos de Técnicas Compensatórias de Drenagem Pluvial

Segundo Pômpeo (2000), com o desenvolvimento do conceito de sustentabilidade, estudos relativos ao controle de enchentes urbanas deixaram de possuir tratamento exclusivo no âmbito técnico da engenharia, considerando que as novas ações direcionadas ao controle da drenagem urbana devem reconhecer a complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade, o que exige análise em termos técnicos e gerenciais da drenagem urbana e controle de cheias.

Estudo elaborado por Cruz e Tucci (2008), sobre avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana, mostra que uma antecipação das ações a serem tomadas para o controle das enchentes urbanas possibilita redução significativa de gastos públicos com obras corretivas.

Segundo Decina e Brandão (2016, p. 208), um dos meios para avaliação de medidas estruturais e não estruturais seria o uso de modelos hidrológicos e hidráulicos. Por meio de softwares é realizada a modelação, sendo “possível criar cenários e simular eventos hidrológicos para que se possam avaliar as consequências da implantação das medidas de controle”. Dessa forma, seria possível o desenvolvimento de metodologias, que auxiliariam a gestão pública no processo de tomada de decisão.

Os sistemas de contenção a jusante, como explica Canholi (2015), dizem respeito às obras para reservação das águas das chuvas a jusante, que controlam os deflúvios provenientes de partes significativas da bacia. Estas obras possuem uma dimensão maior que as obras de

retenção na fonte. Alguns exemplos são as bacias de retenção, bacias de detenção e bacias de sedimentação. Ainda segundo Canholi (2015), os picos de cheia gerados nos sistemas convencionais (canalização) são bem mais elevados que os gerados nos sistemas que se utilizam de elementos projetados com base nos conceitos de reservação.

Esta nova abordagem aponta para a otimização da relação entre o custo e a eficiência dos sistemas de drenagem propostos, a partir de leis voltadas para a regulamentação do uso e ocupação do solo, visando impedir a ocupação de áreas de risco e, também, para a redução dos impactos gerados pela impermeabilização do solo urbano.

Um conceito amplamente utilizado para a aplicação em medidas inovadoras de drenagem é o de detenção dos escoamentos. Neste sentido, Canholi (2015, p. 35) coloca que “a finalidade principal deste tipo de solução é promover a redução do pico de enchente, por meio do amortecimento das ondas de cheia, obtido pelo armazenamento de parte do volume escoado”. Estes sistemas de reservação são classificados, segundo Canholi (2015), de acordo com a sua localização no sistema de drenagem, em sistemas de retenção na fonte e sistemas de retenção a jusante.

Os sistemas de retenção na fonte compreendem dispositivos de pequenas dimensões e localizados próximo aos locais onde os escoamentos são gerados. Destacam-se neste tipo de sistema as superfícies de infiltração, pavimentos permeáveis, valetas de infiltração, lagoas de infiltração, bacias de percolação, pavimentos permeáveis e poços de infiltração.

Vasconcelos, Miguez e Vasquez (2016, p. 660) avaliaram, por meio de modelagem computacional, o efeito da adoção de técnicas compensatórias, considerando a escala de lote em diferentes configurações na cidade do Rio de Janeiro. Foi constatado que “os pavimentos permeáveis se mostraram uma boa opção para regular a vazão superficial efluente em virtude da precipitação sobre sua própria área”. Os autores destacaram, ainda, a importância representada pelo sistema urbano de áreas livres, podendo contribuir para a armazenagem temporária das cheias, configurando-se como alternativa adicional nas ações da gestão pública.

Nas cidades, geralmente muito impermeabilizadas, percebe-se a importância dos espaços livres, que podem ser utilizados para soluções de drenagem urbana, com o uso de pavimentos permeáveis. Battemarco et. al. (2018, p. 71) destacam que, “os espaços livres surgem como aliados fundamentais na aplicação de medidas distribuídas na bacia hidrográfica para redução de lâminas de alagamento e busca por características mais próximas do ciclo hidrológico natural”.

Como dispositivos de drenagem, que possibilitam a infiltração das águas precipitadas, Beux e Ottoni (2015) destacam as bacias de infiltração, valas de infiltração, trincheiras de

infiltração, poços de infiltração, jardins de chuva e pavimentos permeáveis. O pavimento permeável, segundo Maruyama e Franco (2016, p. 4), é definido como aquele que permite a passagem da água da chuva e do derretimento da neve.

Os jardins de chuva, segundo Reis e Ilha (2014, p. 81) são compostos por “áreas permeáveis rebaixadas em relação ao nível natural do terreno, com plantas e/ou preenchidas com material granular”. Ressalta-se que se apresentam como excelente alternativa na drenagem da água de chuva precipitada em áreas impermeáveis.

Melo et al. (2014, p. 160) avaliaram a técnica compensatória inovadora no país, denominada jardim de chuva, que “apresentou resultados satisfatórios para a cidade de Recife. Essa técnica caracteriza uma solução em potencial para o desenvolvimento de cidades hidrológicamente sustentáveis [...]”. Os autores enfatizaram, ainda, que o jardim de chuva se apresenta como uma possibilidade eficiente, para ser usado no controle das águas pluviais urbanas.

Entretanto, Beux e Ottoni (2015) ressaltam que estes elementos separadamente não são suficientes para promover o controle das inundações, sendo necessário que estejam associados a outras ações, tais como, proteção das Áreas de Preservação Permanente, construção de pequenas e médias barragens, uso de bacias de detenção, espalhadas no solo urbano, entre outras.

5. Resultados e Discussão

Teresina, capital do Estado do Piauí, está localizada no Centro-norte do estado e meio-norte do nordeste brasileiro. Encontra-se dividida, administrativamente, em quatro regiões, que têm seus planos de desenvolvimento urbano conduzidos pelas respectivas Superintendências de Desenvolvimento Urbano (SDU's), que são coordenadas, supervisionadas e avaliadas pela Secretaria de Planejamento e Coordenação (SEMPPLAN), fazendo parte da administração direta do município, subordinadas ao chefe do poder executivo municipal (Teresina, 2016).

A zona Leste de Teresina é formada por 29 bairros, sendo considerada região nobre da cidade. Possui infraestrutura de rede de energia elétrica, iluminação pública, rede coletora de esgoto sanitário, rede de abastecimento de água, sistema de coleta das águas pluviais (galerias), encontrando-se, ainda, variadas opções de lazer, entretenimento, educação, comércio e grande concentração de habitações multifamiliares verticais (Teresina, 2016).

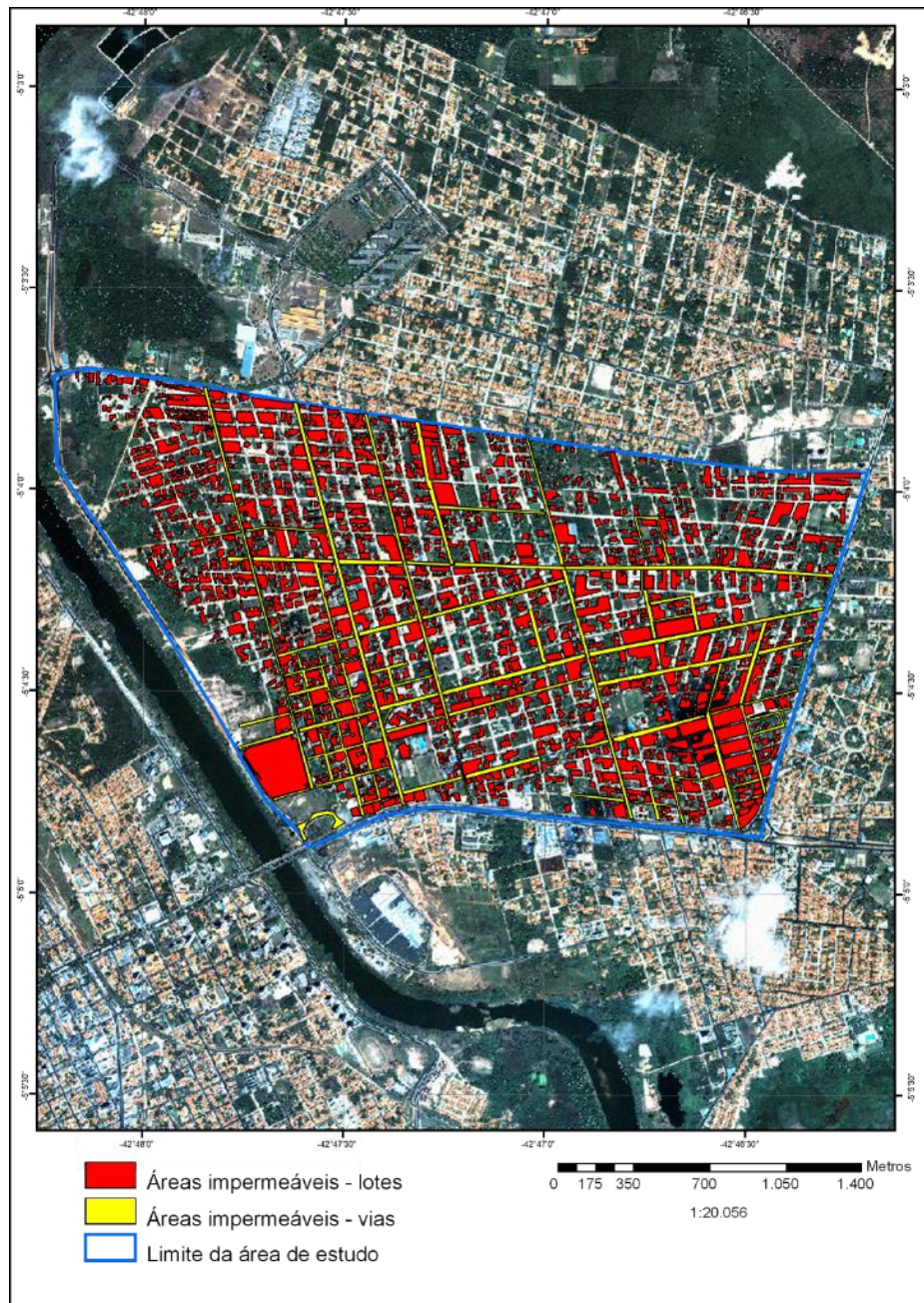
Neste estudo, foi enfocada área localizada nos bairros da Ininga, Jóquei, Horto e Fátima, abrangendo parte da sub-bacia, próxima ao Rio Poti, totalizando cerca de 700 ha. Encontra-se

delimitada por polígono, que tem ao Norte, 1,10 km pela Av. Petrônio Portela e sua continuação pela Av. Visconde da Parnaíba, em 2,70 km; a Leste, pela Av. Presidente Kennedy, na extensão de 1,80 km, até o cruzamento com a Av. João XXIII, que fica ao Sul, seguindo cerca de 2,20 km, e a Oeste, encontra a Av. Raul Lopes, seguindo cerca de 2,50 km, para norte até, novamente, encontrar-se com a Av. Petrônio Portela. A Avenida Raul Lopes está localizada à margem do Rio Poti, correspondendo ao ponto mais a jusante da sub-bacia.

Devido à disposição da topografia, as águas precipitadas na região se direcionam no sentido leste-oeste, passando por região altamente adensada, impermeabilizada e de topografia plana, o que favorece o aparecimento de pontos de inundação. Praticamente toda a água que precipita na sub-bacia tende a escoar para a região de estudo, até chegar ao Rio Poti. Como a região possui declividade natural baixa, pouca capacidade de permeabilidade do solo e ruas estreitas, que funcionam como “calhas” de escoamento, as águas de chuva tendem a se acumular em diversos pontos, tornando-se áreas problemáticas no período de chuvas.

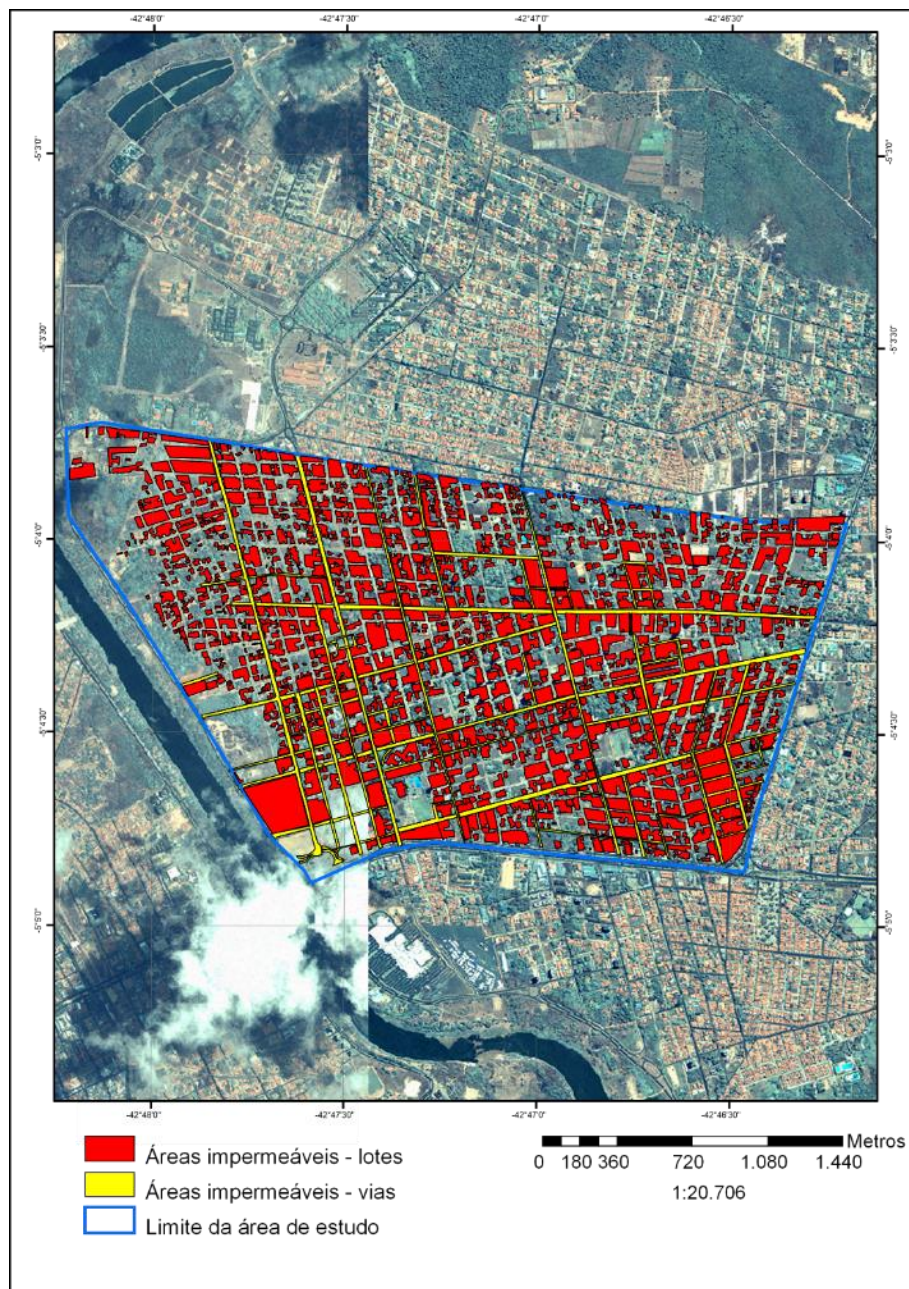
A área estudada encontra-se com elevado grau de urbanização, apresentando alta densidade e alta ocupação do solo, que tem aumentado no decorrer do tempo. É possível observar nas Figuras 1 e 2, que correspondem, respectivamente, aos anos de 2000 e de 2007, o aumento de áreas impermeáveis no local.

Figura 1: Áreas impermeáveis (vias e lotes) no ano de 2000.



Fonte: Google Earth, adaptado pelos autores.

Figura 2: Áreas impermeáveis (vias e lotes) no ano de 2007.



Fonte: Google Earth, adaptado pelos autores.

O problema da impermeabilização é discutido por Garcia e Paiva (2006, p. 107), que observaram, na Bacia Arroio Cancela, em Santa Maria, Rio Grande do Sul, que “as maiores modificações nos hidrogramas de cheia ocorreram com o período de maior taxa de impermeabilização, indicando os impactos do processo de urbanização sobre a vazão de pico e o volume escoado”. Os autores destacaram, ainda, que os aumentos expressivos apresentados ao longo dos anos para a vazão de pico e volume escoado estão relacionados à falta de diretrizes voltadas para o planejamento urbano de forma sustentável.

Na Tabela 1, é possível verificar em números, o aumento da área total impermeável na região de estudo, no período considerado. Foi observado que ocorreu aumento considerável de áreas impermeáveis, tanto das vias como nos lotes da região de estudo. A redução de áreas permeáveis prejudica o escoamento das águas de chuva, contribuindo, assim, para problemas de alagamento em vias da zona leste da cidade de Teresina.

Tabela 1: Evolução de áreas impermeáveis entre os anos de 2000 e 2007.

Tipos	Área Impermeável (ha)		Aumento Percentual
	2000	2007	2000 a 2007
Vias	44,71	48,21	7,96 %
Lotes	147,58	194,29	31,65 %
Total	192,29	242,50	26,11 %

Fonte: Elaborado pelos autores (2011).

A evolução da urbanização, aliada a não adoção de medidas preventivas para o controle das enchentes gera o aumento dos problemas com as inundações no período chuvoso. As soluções para o controle da drenagem urbana em regiões com alto grau de urbanização e densidade populacional, caso da região estudada, devem aliar critérios técnicos, econômicos e funcionais, de modo que as melhores alternativas seriam aquelas que, aliam medidas estruturais não convencionais e medidas não estruturais. Ou seja, basicamente, deve-se focar na adoção de legislação voltada para a não geração de escoamento superficial procedente dos lotes.

Tem-se como uma solução a ser considerada, a adoção de microreservatórios de retenção nos lotes. Esta medida, de controle da vazão na sua fonte, visa à redução da vazão natural na saída dos lotes por meio do amortecimento das ondas de cheia, pelo armazenamento temporário dos volumes escoados. Canholi (2015) explica que este tipo de solução possui a vantagem de adotar dispositivos compostos por pequenas unidades de reservação, que podem ser padronizadas, por outro lado, a avaliação do desempenho global, para fins de dimensionamento e projeto, pode ser complexa e composta por incertezas.

Em algumas situações, a falta de preocupação e planejamento com o tipo de pavimento executado nos novos empreendimentos tende a aumentar o problema das inundações urbanas. É o caso da implantação de supermercado localizado na Avenida Presidente Kennedy, na região estudada, que sofre muito no período de chuvas fortes. O empreendimento foi construído em um terreno que, anteriormente, abrigava um clube social, com ampla área verde permeável (Figura 3).

Figura 3: Área do antigo Clube das Classes Produtoras do Piauí, em 2007.



Fonte: Google Earth (2009), adaptado pelos autores.

Para a implantação do supermercado, toda a vegetação do lote foi suprimida, tendo grande parte do terreno sido ocupada pela edificação, enquanto que, na área restante foi colocado piso impermeável, para possibilitar o estacionamento (Figura 4).

Figura 4: Estacionamento do supermercado construído na área do antigo Clube das Classes Produtoras do Piauí.



Fonte: Foto dos autores (2016).

É possível observar que, no local, ocorreu aumento de quase 100% da área impermeável, reduzindo, assim, a possibilidade de parte da infiltração das águas de chuva, que com chuvas

intensas, escoam para as ruas. Neste caso, soluções alternativas poderiam ter sido usadas, como pavimento permeável e jardins de chuva.

Percebe-se, ainda, a ampliação de áreas construídas, no entorno, e conseqüentemente maior impermeabilização das áreas adjacentes (Figura 5), contribuindo, dessa forma, para o aumento de problemas de escoamento das águas de chuva. Neste sentido, Moura, Pellegrino e Martins (2014) destacam a expansão urbana e o crescimento de áreas impermeáveis como fatores que favorecem o aumento da ocorrência de enchentes nas cidades, destacando as técnicas compensatórias de drenagem pluvial como excelente alternativa para minimizar estes impactos.

Figura 5: Terreno do antigo clube, com atual supermercado e estacionamento e área do entorno.



Fonte: Google Earth (2018), adaptado pelos autores.

Como solução a ser adotada, tem-se a utilização de pavimentos permeáveis, visando melhorar as características do solo urbano e o grau de impermeabilização. Os pavimentos permeáveis constituem-se de superfícies porosas ou perfuradas que permitem a infiltração de uma parte do escoamento superficial, para dentro de uma camada inferior de reservação, formada por pedras de granulometria diferenciada, que liberará a água acumulada ao solo, por infiltração (Costa Júnior & Barbassa, 2006).

Apesar da grande contribuição dos pavimentos permeáveis para a redução do escoamento superficial, não existe algum tipo de incentivo por parte da administração pública da cidade de Teresina, voltado para a adoção de tal procedimento. O que se visualiza nos

grandes empreendimentos da região é que, apesar da existência dos problemas relacionados à drenagem urbana, não são adotadas medidas mínimas que visem a redução do escoamento superficial.

Outra opção que poderia ser usada, para minimizar as inundações urbanas na cidade de Teresina, é a utilização de bacias de retenção em determinados pontos da bacia hidrográfica. Estudo sobre essa questão foi realizado por Campana, Bernardes e Silva Júnior (2007), em que foi feito o monitoramento quali-quantitativo de duas bacias de retenção, localizadas na cidade de Brasília, que comprovou a eficiência hidráulica das bacias de retenção, considerando que foi observada a redução média de 62,6%, na vazão de pico das ondas de cheia.

É preciso identificar os pontos de inundação, gerando os hidrogramas para cada bacia estudada, para apontar a possível localização onde deveria ser implantada a bacia de retenção, bem como determinar as suas dimensões.

Destaca-se, ainda, que a decisão para a escolha do melhor equipamento para o controle da drenagem urbana deve-se considerar diversos fatores, tais como: econômico, social, ambiental, técnico, entre outros, comparando vantagens e desvantagens de cada sistema proposto, e não, apenas, tomando-se a decisão em função de um único objetivo.

Como a região estudada possui elevado grau de ocupação do solo, apresentando, ainda, o metro quadrado de imóvel mais caro da cidade de Teresina, o poder público teria um custo elevado para a desapropriação de terrenos, voltados para executar medidas de contenção de jusante, tais como, bacias de retenção ou retenção. Contudo, observa-se que, apenas com a realização de um estudo detalhado por parte da Prefeitura Municipal de Teresina, em que seriam analisados os aspectos econômicos, sociais, técnicos e ambientais envolvidos na proposta, seria possível concluir pela viabilidade, ou não, da implantação deste tipo de sistema.

6. Considerações Finais

Constatou-se que, mesmo com variedade de soluções não convencionais, que aliam a conservação do ambiente ao controle das águas pluviais, a administração municipal tem priorizado, apenas, a adoção de práticas de canalização. Tal fato gera inconvenientes ao tráfego, quando de sua implantação, tem alto custo e tende a resolver o problema de maneira pontual e temporária, uma vez que, age diretamente nos efeitos do escoamento, ou seja, tem por objetivo dar encaminhamento às vazões geradas, enquanto que, as soluções mais atuais agem nas fontes geradoras das altas vazões.

Foram apresentadas algumas das possibilidades da prática de medidas de controle da drenagem urbana, que fogem do conceito convencional da implantação de canalização, como canais e galerias. Destaca-se, também, que a metodologia utilizada, mesmo que de formato simples, possibilitou a discussão e reflexão a respeito de algumas medidas que podem ser adotadas como meios de controle da drenagem urbana da zona leste da cidade de Teresina, de maneira isolada ou aliadas aos sistemas convencionais existentes ou propostos, visando a minimização da problemática identificada.

A adoção de reservatórios de lote, por exemplo, apresenta-se como uma das medidas possíveis para o uso em bacias já urbanizadas, como é o caso da situação estudada. Contudo, é necessário que sejam planejados, destinados a regular todos os parâmetros relativos à utilização deste tipo de sistema, bem como, exista a disponibilidade de um corpo técnico e operacional, que possa fiscalizar a eficiência dos equipamentos a serem implantados nos lotes.

Os pavimentos permeáveis são considerados como medidas alternativas, que sugerem estudo mais aprofundado, tanto relacionado aos aspectos técnicos, como aos econômicos, no momento da implantação em vias públicas. Contudo, destaca-se que, em área de estacionamento de novos empreendimentos, a implantação deste tipo de pavimentação é uma boa alternativa, visto que, a cada área impermeabilizada criada, existe crescimento do escoamento superficial gerado, não proporcional ao incremento em equipamentos de controle de drenagem. Ressalta-se, ainda, que para o uso desta medida, faz-se necessária a adoção de legislação, que regule todos os parâmetros relativos à implantação dos pavimentos permeáveis, e, também, o acompanhamento regular dos técnicos das prefeituras, a fim de validar a eficiência dos sistemas implantados.

Referências

Araújo, P. R., Tucci, C. E. M., & Goldenfum, J. A. (2000). Análise da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial. In: Tucci, C. E. M., & Marques, D. M. (Org.). *Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Editora UFRGS.

Battemarco, et. al. (2018). Sistemas de espaços livres e drenagem urbana: um exemplo de integração entre o manejo sustentável de águas pluviais e o planejamento urbano. *Paisagem e Ambiente: Ensaio*, 42, 55-74.

Beux, F. C., & Ottoni, A. B. (2015). Métodos alternativos de drenagem a partir da retenção e infiltração das águas de chuva no solo, visando a redução das enchentes urbanas. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 03(17), 01-13.

Campana, N. A., Bernardes, R. S., & Silva JR., J. A. (2007). Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de retenção. *Ambiente & Água*, 2(3), 98-111.

Canholi, A. P. (2015). *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos.

Costa Júnior, L. L., & Barbassa, A. P. (2006). Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2(1), 46-54.

Christofidis, D., Assumpção, R. S. F. V., & Kligerman, D. C. (2019). A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. *Saúde em Debate*, 43(no.spe3), 94-108.

Cruz, M. A. S., & Tucci, C. E. M. (2008). Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 13(3), 59-71.

Decina, T. G. T., & Brandão, J. L. B. (2016). Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21(1), 201-217.

Garcia, J. I. B., & Paiva, E. M. C. D. (2006). Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela, RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 11(4), 99-118.

Garrido Neto, P. S., Veról, A. P., Miguez, M. G., & Vazquez, E. G. (2019). Sistemas de drenagem urbana sustentáveis no mundo e no Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 5(10), 18743-18759.

Garotti, L. M., & Barbosa, P. B. (2010). Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 15(1), 19-28.

Justino, E. A., Paula, H. M., & Paiva, E. C. R. (2011). Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia, MG. *Espaço em Revista*, 13(2), 16-38.

Kemerich, et al. (2014). Infiltração e escoamento superficial sob diferentes usos e ocupação em uma Bacia Hidrográfica. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37(2), 75-88.

Maruyama, C. M., & Franco, M. A. R. (2016). Pavimentos permeáveis e infraestrutura verde. *Cidades Verdes*, 04(09), 73-86.

Moura, N. C. B., Pellegrino, P. R. M., & Martins, J. R. S. (2014). Transição em infraestruturas urbanas de controle pluvial: uma estratégia paisagística de adaptação às mudanças climáticas. *Paisagem e Ambiente: Ensaios*, 34, 107-128.

Melo, T. A. T., et al. (2014). Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, 14(4), 147-165.

Nascimento, N. O., & Batista, M. B. (2009). Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais. In: Righetto, E. A. (Coord.). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Rio de Janeiro: ABES.

Pômpeo, C. A. (2000). Drenagem urbana sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5(1), 15-23.

Reis, R. P. A., & Ilha, M. S. de O. (2014). Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. *Ambiente Construído*, 14 (2), 79-90.

Santos, K. A., Rufino, I. A. A., & Barros Filho, M. N. M. (2017). Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. *Eng Sanit Ambient*, 22(5), 943-952.

Silva, P. O., & Cabral, J. J. S. P. (2014). Atenuação de Picos de Vazão em Área Problema: Estudo Comparativo de Reservatórios de Detenção em Lote, em Logradouros e em Grande Área da Bacia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(2), 7-18.

Teixeira, Rodrigues, R. S. S., Crispim, D. L., Fernandes, L. L., & Bittencourt, G. M. (2020). Metodologias para Caracterização e Avaliação de Sistemas de Drenagem urbana: uma revisão. *Research, Society and Development*, 9(4), e197943063, 1-32.

Teresina. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação (SEMPPLAN). 2016. *Teresina em bairros*. Recuperado de <<http://semplan.teresina.pi.gov.br/teresina-em-bairros/>>.

Tucci, C. E. M. (2006). *Gestão de águas pluviais urbanas*. Brasília: Ministério das Cidades.

Vasconcelos, A. F., Miguez, M. G., & Vazquez, E. G. (2016). Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21(4), 655-662.

Zanandrea, F., & Silveira, A. L. L. (2019). Uso de técnicas de *low impact development* no controle de impactos hidrológicos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24(6), 1195-1208.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Wilza Gomes Reis Lopes – 45%

João Macêdo Lima Júnior – 45%

Karenina Cardoso Matos – 10%