

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REUSO DE ÁGUAS REÍTIDAS EM SISTEMAS COMPENSATORIOS DE DRENAGEM URBANA EM SUB-BACIA DA CIDADE DE TERESINA-PI

Paulo Vitor Guimarães Rocha¹ ; Valeska Alves Carneiro Batista²; George Ney Lopes soares Júnior³; Francisco dos Santos Moura Júnior⁴; Keicyane Alves de Sousa⁵; Leonardo Madeira Martins⁶ & João Macedo Lima Júnior⁷;

Palavras-Chave – Drenagem Urbana, Sustentabilidade, Medidas Compensatórias.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o crescimento urbano foi significativo a partir do século XX. Entre os anos de 1960 e 2010 a população urbana brasileira passou de 32 milhões para, aproximadamente, 161 milhões de habitantes (CENSO, 2010). O aumento da população urbana traz várias alterações ao ambiente natural das cidades. Uma das transformações mais notadas é a redução da capacidade de permeabilidade do solo urbano, isso ocorre tanto pelo aspecto de mudança da paisagem como pelo fato dos efeitos gerados a partir dessa modificação do estado original.

Os solos das cidades possuem parcela considerável de sua superfície impermeabilizada pelas edificações, pavimentação de vias e calçadas. A transformação de áreas anteriormente permeáveis em áreas impermeáveis induz a um desequilíbrio hidrológico, caracterizado pelo aumento do escoamento superficial e pela antecipação dos picos de vazão no tempo, o que está diretamente relacionado com as enchentes em áreas urbanas (TUCCI, 2006).

Conforme Martins (2006), as alternativas para lidar com os problemas das enchentes urbanas quase sempre são idealizadas com obras de caráter corretivo, partindo do conceito higienista de que as águas devem ser afastadas o mais rápido possível por meio de obras hidráulicas. Contudo, cada vez mais, direcionamentos técnicos são adotados como soluções para a manutenção dos sistemas naturais de drenagem, visando ampliar a capacidade de infiltração do solo, o tempo de retenção das águas superficiais, e, conseqüentemente, diminuir a ocorrência de enchentes urbanas.

Medidas com o foco na antecipação de ações possuem como unidade de planejamento as bacias hidrográficas. Este método possibilita o desenvolvimento do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU), instrumento importante no planejamento, coordenação, fiscalização e supervisão das ações ordenadas com o objetivo de regulamentar o crescimento urbano e mitigar os seus efeitos.

Em Teresina, capital do estado do Piauí, desde 3 de junho de 2015 está em vigor a Lei Complementar de número 4.724, conhecida como Lei de Drenagem Urbana, a qual tem como

1) Graduando em Engenharia Civil, Centro universitário UNINOVAFAPI, R. Antônia Myrian Eduardo Pereira, 4935 ,bloco rosa, ap 203 - Campestre, Teresina - PI, 64053-740, (86) 995389673, Paulo_netcontrol@hotmail.com

2) Graduando em Engenharia Civil, Centro universitário UNINOVAFAPI, R. Aristides Almeida, 960, bloco A, ap 105, Teresina - PI, 64053-300, (86) 9 9824-1589, valeskaalv.srn@gmail.com

3) Graduando em Engenharia Civil, Centro universitário UNINOVAFAPI, R. Deputado João carvalho, 5283 – Santa Isabel, Teresina-PI, 64053-130, (86) 98116-1774, georgenlsoares@outlook.com

4) Graduando em Engenharia Civil, Centro universitário UNINOVAFAPI, R. São Leonardo, 566, bloco 2, ap 108, 64073063, (89) 98811-1017, franciscosantasmourajr@gmail.com

5) Tecnóloga em Geoprocessamento, Engenheira Civil, Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Quadra 59 15 A Renascença 2, 64082 – 550, (86) 9 9910–3233, keicyane@ufpi.edu.br

6) Professor do Curso de Engenharia Civil e Diretor de Coordenação do Programa Lagoas do Norte, Centro Universitário UNINOVAFAPI e Prefeitura Municipal de Teresina, Rua Vitorino Orthiges Fernandes, 6123 - Uruguai, Teresina - PI, 64073-505, (86) 2106-0700, leonardo.martins@uninovafapi.edu.br

7) Professor do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário UNINOVAFAPI, R. Profª. Diná Soares, 4165 - Morros Teresina - PI, 64062-150, (86) 9 9424-1932, joao.macedo@uninovafapi.edu.br

objetivo principal definir as diretrizes para regularização relativa a controle dos impactos da drenagem urbana de novos empreendimentos e inundações ribeirinhas.

Entre vários aspectos importantes na citada Lei, consta em seu artigo 9º a determinação de que, na implantação de novos loteamentos e condomínios, o empreendedor deve executar o sistema para captação e retenção de águas pluviais, considerando um limite de vazão máxima específica de saída para a rede pública de águas pluviais, igual ou menor a $52,1 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, por meio de mecanismos ou estruturas que evitem e/ou retardem a entrada da água na rede pública de drenagem de águas pluviais, que poderão ser: a) dispositivos de controle nos telhados; b) bacias de infiltração; c) valetas de infiltração abertas; d) bacias de percolação; e) trincheira de percolação; f) pavimentos porosos; g) reservatórios de detenção; h) poços de infiltração; i) outros que sejam aprovados por órgão competente da Prefeitura municipal.

Segundo Dixon, Butler e Fewkes (1999), a aplicação dessas medidas, além de reduzir o escoamento superficial, minimizando o problema de alagamentos, pode trazer o benefício da conservação da água e reduzir a dependência excessiva das fontes superficiais de abastecimento, garantindo uma melhoria da sustentabilidade urbana. Além disso, os autores relatam que essa associação só será possível através da mobilização da sociedade em busca do uso apropriado e eficiente da água.

Assim, pode-se considerar que a aplicação de algumas medidas compensatórias em drenagem urbana pode complementarmente trazer determinadas vantagens do ponto de vista da conservação dos recursos hídricos, visto que existe o potencial de adaptação de sistemas de reutilização desta água retidas. Entre os benefícios possíveis, sob a ótica de conservação dos recursos hídricos, destacam-se: redução do consumo de água da rede pública e do custo de fornecimento desses recursos; diminuição da utilização de água potável onde esta não é necessária (na descarga de vasos sanitários e irrigação de jardins, por exemplo); ajuda a conter as enchentes, represando parte da água que teria de ser drenada para galerias e rios; e um incentivo para a conservação de água, a autossuficiência e uma postura ativa perante os problemas ambientais da cidade.

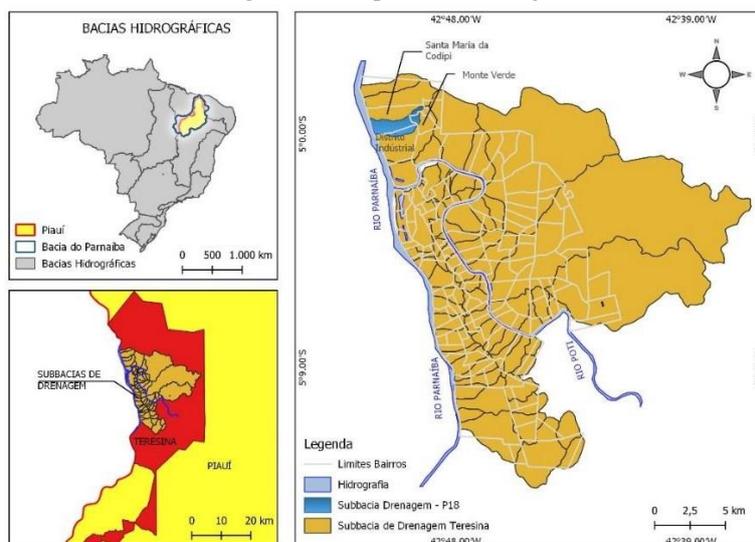
Deste modo, o presente trabalho objetivou identificar os tipos de estruturas compensatórias utilizadas nos empreendimentos (loteamentos) localizados na sub-bacia P18 da cidade de Teresina, delimitada, conformidade a Lei municipal de Drenagem Urbana, avaliando a potencialidade dessas estruturas no que se refere ao reuso dos recursos hídricos nos respectivos empreendimentos.

METODOLOGIA

A área de estudo fica localizada na cidade de Teresina, mesorregião do centro norte piauiense, que tem como principal característica ser uma cidade mesopotâmica, construída às margens de dois rios perenes, o Parnaíba e o Poti. O município de Teresina possui um território de $1.391,046 \text{ km}^2$, com população estimada em 861.442, onde 94,3% dos seus habitantes residem na área urbana do município e 5,70% na zona rural (CENSO, 2010).

A sub-bacia P18, faz parte da bacia hidrográfica do rio Parnaíba, e está localizada na porção zona norte da cidade, nos bairros Santa Maria da Codipi, Monte Verde e Distrito Industrial. Essa sub-bacia possui uma área equivalente a 407 hectares e seu coeficiente de compactidade calculado é 1,49, o que resulta em baixa susceptibilidade a alagamentos pela sua forma. Porém, mesmo com essa característica, a área deverá receber atenção especial devido à forte expansão habitacional verificada nos últimos anos (PDDrU/THE, 2015). Tal bacia foi escolhida devido estar sendo local de implantação de diversos empreendimentos imobiliários nos últimos 4 anos, bem como pela disponibilidade de informações relativas aos mesmos.

Figura 1 – Mapa de Localização



Fonte: Autor (2021)

O presente estudo foi dividido em três etapas. Na primeira, foram realizados levantamentos de dados e informações referentes à pesquisa. As informações relativas à delimitação da sub-bacia estudada foram adquiridas no próprio Plano Diretor de Drenagem Urbana do município de Teresina. Dados específicos referentes aos empreendimentos como: quantidade de unidades habitacionais, localização e área impermeável foram obtidas junto à Secretária Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEMDUH). Estas informações foram de fundamental importância para a escolha da região de estudo, pois foi verificada uma alta concentração de diversos empreendimentos, do tipo loteamento, que foram executados após a implementação da Lei da Drenagem Urbana.

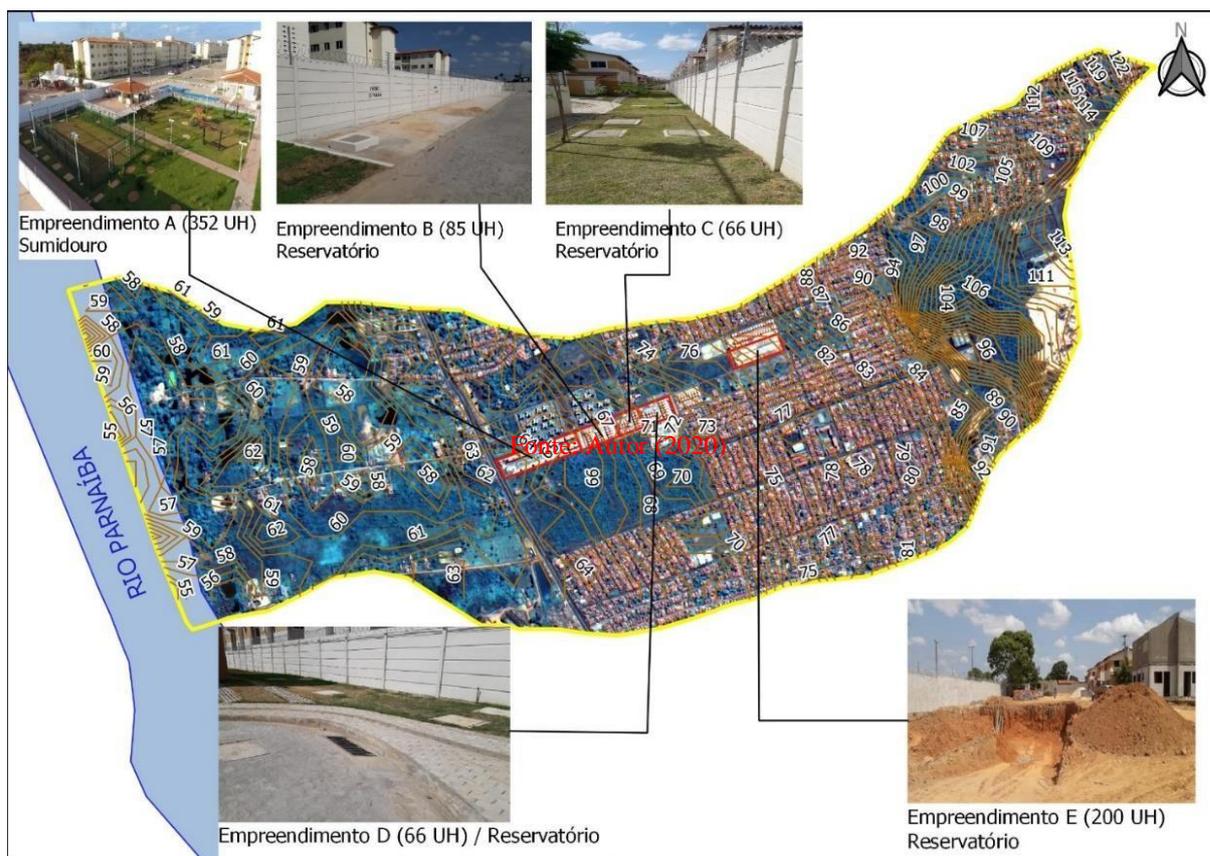
Na segunda etapa, foram realizadas as visitas *in loco* para caracterizar os empreendimentos, visando identificar o tipo empreendimento, sua medida compensatória de drenagem e qual o destino final do recurso hídrico obtido. Essas informações foram obtidas junto ao responsável por cada empreendimento, os quais permitiram o acesso ao projeto arquitetônico e ao registro da imagem do elemento de drenagem utilizado, bem como fizeram breves relatos das condições atuais de drenagem na região. Também, foram desenvolvidos mapas com a utilização do software QGIS, que permitem a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Imagens do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS-4) com 2 metros de resolução espacial, são indicadas para o gerenciamento dos processos territoriais (MARTINS; BORGES, 2020), por isso foram utilizadas para o georreferenciamento e locação dos empreendimentos. Os dados altimétricos, foram adquiridos a partir do modelo digital de elevação obtido por meio de imagens da missão topográfica de radar realizada mundialmente no ano 2000, *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, disponibilizados com 30 metros de resolução espacial pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para todo o Brasil no endereço eletrônico <https://www.cnpq.embrapa.br/projetos/relevobr/>.

Por fim, a terceira etapa foi constituída pela análise dos dados coletados *in loco* e tabulação das informações, com a indicação das características dos empreendimentos e das medidas compensatórias utilizadas e o seu potencial no que se refere à reutilização das águas, também levando-se em consideração as características dos respectivos empreendimentos.

RESULTADOS

Conforme demonstrado na Figura 2, a obtenção do primeiro resultado adveio da geração do mapa com a microlocalização dos empreendimentos. Neste mapa é possível identificar o local exato de implantação dos empreendimentos, a altimetria da área e as medidas adotadas para a regulamentação da drenagem.

Figura 2 – Microlocalização dos empreendimentos com curvas de níveis – Sub-bacia P18



Fonte: Autor (2021)

Na Tabela 1 são mostradas as informações compiladas relativas aos empreendimentos, discriminando as coordenadas centrais, tipologia de empreendimentos, quantidade de unidades habitacionais, tipo de medida compensatória adotada, área impermeável e destino final do recurso hídrico acumulado.

Quadro 1 – Resumo das Características dos empreendimentos

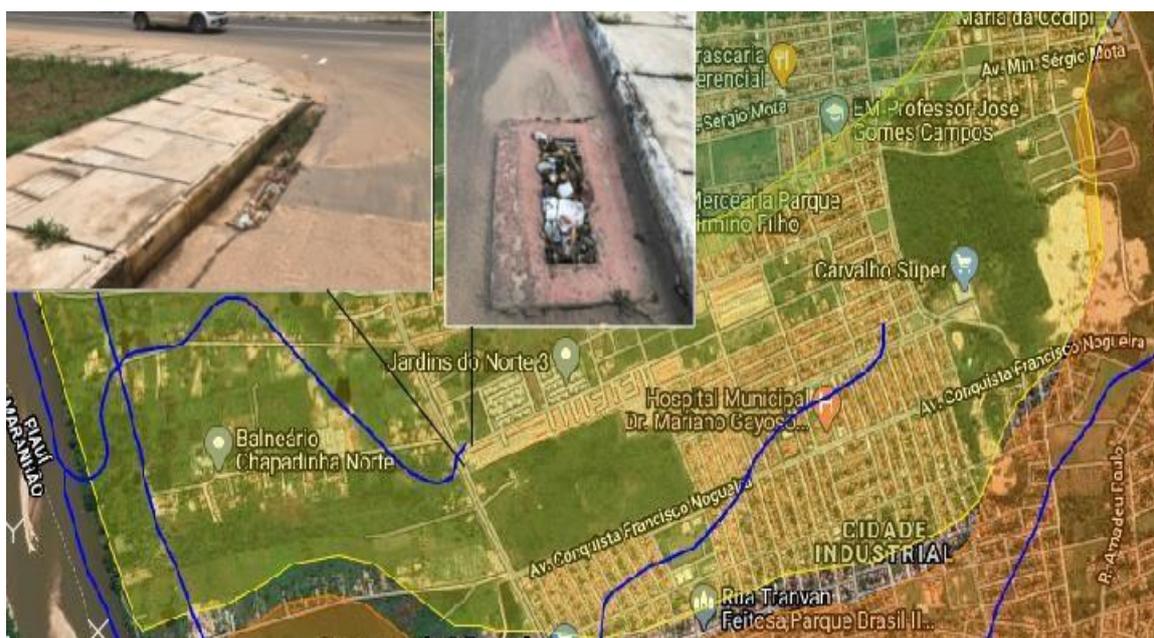
EMPRESSEMENTOS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		TIPOLOGIAS DO EMPREENDIMENTO	Nº DE UNIDADES HABITACIONAIS	TIPO DE MEDIDA COMPENSATÓRIA	ÁREA IMPERMEÁVEL	DESTINO FINAL DO RECURSO HÍDRICO
A	LAT = 4° 59' 43,92" S	LONG = 42° 50' 27,88" O	BLOCOS DE APARTAMENTO	352	RESERVATÓRIO - DESCARGA DE FUNDO	15.479,25 m ²	LENÇOL FREÁTICO
B	LAT = 4° 59' 41,24" S	LONG = 42° 50' 20,52" O	BLOCOS DE APARTAMENTO	85	RESERVATÓRIO - BOMBEAMENTO	7.389,75 m ²	SARJETA
C	LAT = 4° 59' 39,73" S	LONG = 42° 50' 16,78" O	BLOCOS DE APARTAMENTO	66	RESERVATÓRIO - BOMBEAMENTO	5.920,73 m ²	SARJETA
D	LAT = 4° 59' 38,49" S	LONG = 42° 50' 13,40" O	BLOCOS DE APARTAMENTO	66	RESERVATÓRIO - BOMBEAMENTO	5.534,95 m ²	SARJETA
E	LAT = 4° 59' 32,54" S	LONG = 42° 50' 02,64" O	BLOCOS DE APARTAMENTO	200	RESERVATÓRIO - BOMBEAMENTO	15.504,85 m ²	SARJETA

Fonte: Autor (2021)

Observa-se que os empreendimentos se localizam em um setor central da sub-bacia, estando à jusante de empreendimentos habitacionais construídos antes da implementação do PDDrU de Teresina. Este fato, aliado à configuração da topografia local, possibilita que mesmo após a implantação das medidas compensatórias de controle da drenagem urbana, ainda seja possível a ocorrência de enchentes nas áreas dos empreendimentos, conforme relato de responsável pela execução de uma das obras.

Na Figura 3 é possível identificar os talwegues da sub-bacia, bem como o registro fotográfico da situação da área após a ocorrência de eventos chuvosos, com acúmulo de lixo carregado pelas águas superficiais e acumulados nos elementos componentes do sistema de microdrenagem, tudo junto da área.

Figura 3 – Microlocalização dos empreendimentos com curvas de níveis – Sub-bacia P18



Fonte: Autor (2020)

Com relação à potencialidade de reuso, segundo Silva (2010), a água das chuvas cai destilada das nuvens, mas acaba sendo contaminada durante o seu trajeto até chegar ao solo. Assim, o autor retrata que a água para ter boa qualidade deve estar sem cheiro e sem cor, e assim, ele classifica o reuso do mesmo em até quatro classes, conforme Quadro 2:

Quadro 2 – Classes de água para reuso

Classes de água para reuso	Atividades indicadas
Classe 1	Descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos, fins ornamentais (chafarizes, espelhos d'água, etc), lavagem de roupas e de veículos.
Classe 2	Usos associados à construção de edificações: Lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo, controle de poeira.
Classe 3	Irrigação de áreas verdes, rega de jardins.
Classe 4	Resfriamento de equipamentos / torres de resfriamento.

Fonte: Silva (2010)

Isto posto, entre as classes apresentadas, verifica-se que a classe 3 é referente ao uso preponderante das águas na irrigação de áreas verdes e rega de jardins, sendo este uso compatível com a característica dos empreendimentos B, C, D e E analisados.

Para a avaliação da potencialidade de reuso das águas armazenadas nos dispositivos compensatórios, foram consideradas as áreas verdes de cada empreendimento, o consumo necessário de água para possibilitar uma irrigação adequada (considerando-se vegetação do tipo gramínea), o volume de armazenamento de cada dispositivo.

A partir da análise, obtiveram-se os resultados relativos à vazão necessária para possibilitar a rega adequada das áreas verdes consideradas nos empreendimentos, conforme Quadro 3 abaixo:

Quadro 3 – Estimativa de Vazão Diária de Irrigação

Empreendimento	Área Total (há) ¹	Área Verde Considerada (há) ²	Área de Armazenamento (m³) ¹	Vazão do Bombeamento (m³/h) ¹	Consumo de Irrigação (m³/há x dia) ³	Vazão Diária para Irrigação (m³/h) ⁴
B	0,92	0,092	395,73	40,90	267,91	6,162
C	0,76	0,076	315,58	104,40		5,090
D	0,76	0,076	295,01	104,40		5,090
E	2,31	0,231	827,19	77,60		15,472

Fonte: Autor

1 - Conforme informação disponibilizada pela SEMDUH (Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano) - Teresina-PI;

2 - Considerado 10% da área total, conforme Lei 3.551/2006 - Parcelamento, uso e ocupação do solo no município de Teresina-PI;

3 - Consumo médio anual conforme Roteiro de Cálculo para necessidade de água para gramados, disponível em

[https://rbirrigacao.com.br/calculo-da-agua-necessaria-as-plantas-de-jardim/;](https://rbirrigacao.com.br/calculo-da-agua-necessaria-as-plantas-de-jardim/)

4 - Obtido por meio da fórmula Qirrigação = (Área Verde Considerada x Consumo de Irrigação) / 4 - Considerando que a bomba trabalhe 4 horas por dia.

Conforme o exposto, é possível observar que as vazões dos sistemas de bombeamento que compõem o sistema construtivo compensatório são bastante superiores às vazões necessárias para a irrigação das áreas verdes consideradas. Desta forma, pôde-se avaliar a potencialidade do reuso da água armazenada nos dispositivos compensatórios dos empreendimentos B, C, D e E.

No caso do Empreendimento A, pelo fato do sistema compensatório encaminhar a água diretamente para infiltração no solo, a implementação de um sistema de bombeamento e redirecionamento dessas águas não se mostraria como tão favorável, sendo de difícil implantação e caracterizado como um sistema de captação subterrânea, já não sendo considerada reuso de água.

CONCLUSÕES

A partir da amostra estudada, foi possível verificar que nos empreendimentos com número menor de unidade habitacional foi utilizado reservatório de contenção com sistema de bombeamento. Já para o empreendimento, que possui um maior número de unidades habitacionais e área impermeável elevada, foi utilizado os reservatórios de contenção com descarga de fundo.

A utilização dos dispositivos compensatórios de armazenamento e bombeamento favorecem o reuso das águas retidas nesses reservatórios. A partir da avaliação das vazões necessárias para a rega da vegetação existente nas áreas verdes, bem como das vazões disponíveis nos sistemas de bombeamento que compõem os sistemas compensatórios, foi possível concluir que existe grande potencial para reuso dessas águas da chuva retidas nos reservatórios.

Deste modo, de acordo com os dados estipulados, o menor tempo de irrigação dos sistemas utilizados foi equivalente a 53 dias, considerando os reservatórios abastecidos em sua totalidade. Assim, observa-se que a adoção do sistema contribui de forma significativa para economia dos moradores e sustentabilidade dos recursos hídricos, pois durante esse tempo não utiliza-se águas oriundas da rede de abastecimento, reduzindo o consumo e que a tendência inicial era de que as águas armazenadas tenham seu encaminhamento para as sarjetas, o que pode gerar o aparecimento de novos pontos de alagamento à jusante dos empreendimentos, sendo também uma destinação inadequada do ponto de vista de conservação dos recursos hídricos.

Além disso, é válido relatar que o uso do sistema de reservação possui limitações. Dentre elas, observam-se: a exigência de manutenções periódicas, seja para limpeza do reservatório, seja para a bomba e a limitação de abastecimento dos reservatórios durante o período de estiagem, no qual pode ficar sem água suficiente para a manutenção do sistema.

Complementarmente, pôde-se observar que a Lei de Drenagem está sendo atendida adequadamente, tendo sido realizada fiscalização e registro quando da implantação das medidas compensatórias nos empreendimentos.

Ademais, observa-se a necessidade de estruturação e manutenção dos elementos de micro e macrodrenagem da área em estudo, pois as medidas de contenção em lote ajudam minimizar a potencialidade dos alagamentos, mas não chega a evitá-los. A repetição de tal fenômeno, pode ser entendida como consequência da construção dos empreendimentos ser anterior a Lei de Drenagem ou/e resultado da ineficiência da manutenção e estruturação dos elementos de macro e micro drenagem da área em estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário UNINOVAFAPI pelo apoio e incentivo à pesquisa por meio do programa PIBIC E PIVIC.

REFERÊNCIAS

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination. *Water Science Technology*, v. 39, n. 5, p. 25-32, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sinopse do Censo Demográfico de 2010. Rio de Janeiro, 2011.

MARTINS, P. A. G. Manejo de Águas Pluviais Urbanas: estudo de bacias de amortecimento na Região Metropolitana de São Paulo. Campinas, SP. 2006. 181p. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Campinas, 2006.

SEMPRESUSTENTÁVEL .COM.BR. http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/reu_sodeagua/reuso-de-agua-do-banho.htm < acesso 24/05/2021 > SILVA, Simoni Rosa da; **Reuso de Água em Edificações**. Disponível em: www.pec.poli.br/conteudo/aulaIJDITC/Aula_Reuso_%E1gua_10-05-10-1.pdf. <Acesso em: 24 de maio de 2021>).

SEMPPLAN. Perfil dos Bairros. Disponível em: Acesso em: 14 de maio de 2020.

SEMDUH, 2020 - Projetos de Drenagem Aprovados após a Vigência da Lei nº4.724/2015 (até a data de 28/09/2020). Disponível em: [https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1XgZlvOz0ZaEMYUI499KIaHJdz6AsdWqn&ll=-5.28459902236465%2C-42.013183211095466&z=9]. Acesso em: 13 de outubro de 2020.

SEMDUH, 2020 - Sub Bacias Drenagem de Teresina. Disponível em: [https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=11UQIIDITuvbza0zd1whuQN73QkHXltBa&ll=-5.094247769211248%2C-42.736638500000005&z=11]. Acesso em: 13 de outubro de 2020.

SEMPPLAN, 2020 - Teresina Geo - Infraestrutura. Disponível em: [https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?hl=pt-BR&hl=pt-BR&ll=-4.990891572438248%2C-42.838124499999999&z=15&mid=1R3WKU9SEytPSQ3N0XtxE4KLhuyok43W7]. Acesso em: 13 de outubro de 2020.

relativa a controle dos impactos da drenagem urbana de novos empreendimentos e inundações ribeirinhas, na drenagem pluvial pública e dá outras providências. Diário Oficial do Município de Teresina, Poder Executivo, Teresina, PI, 12 jun. 2015.

TERESINA (PI). Lei Complementar nº 3.561, de 20 de outubro de 2006.

Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano do Município de Teresina e dá outras providências. Disponível em:<<http://www.semplan.teresina.pi.gov.br>>. Acesso em: 24 de maio de 2021.

TUCCI, C. E. M. (2006) Gestão de águas pluviais urbanas. Ministério das Cidades, Brasília.
MARTINS, P. T. de A.; BORGES, P. P. Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres na literatura científica global: tendências a partir de uma análise cienciométrica. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 40, n. 01, p. 1-25, 2020.

TERESINA (PI). Lei Complementar nº 3.561, de 20 de outubro de 2006. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano do Município de Teresina e dá outras providências. Disponível em:<<http://www.semplan.teresina.pi.gov.br>>. Acesso em: 15 de maio de 2020.

